



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

**EFEKTIVNÍ NÁVRH A PROVOZ RECYKLAČNÍ LINKY JAKO  
PRVEK KOMPLEXNÍHO ODPADOVÉHO ŘETĚZCE**

EFFECTIVE PROPOSAL AND OPERATION OF RECYCLING LINE AS AN ELEMENT IN WASTE  
MANAGEMENT

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Martin Dufka**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Jiří Gregor, Ph.D.**

**BRNO 2019**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství  
Student: **Bc. Martin Dufka**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Procesní inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Gregor, Ph.D.**  
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## **Efektivní návrh a provoz recyklační linky jako prvek komplexního odpadového řetězce**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Pro zhodnocení materiálově využitelných odpadů je vhodná celá řada průmyslových postupů. Dlouhodobě jsou za tímto účelem využívány papírny, metalurgie a sklárny. Mezi méně obvyklé možnosti patří např. materiálové využití odpadů v cementárenském procesu (spoluspalování). Komplikovanější je recyklace plastových obalů, které se vzájemně liší jak chemickým složením, tak i fyzikálními vlastnostmi. Právě plasty budou hlavním tématem diplomové práce. Dříve se značná část evropských odpadních plastů exportovala, nedávno však Čína omezila dovoz těchto materiálů, proto lze očekávat rozvoj domácí recyklační infrastruktury. Cílem práce je Vytvoření technicko–ekonomického modelu recyklační linky a jeho aplikace pro bilanční výpočty technologie recyklační linky a ekonomické vyhodnocení. Nástroj bude použit pro hodnocení vybraných scénářů.

### **Cíle diplomové práce:**

Popis postupů pro nakládání s materiálově využitelnými komunálními odpady se zaměřením na různé frakce plastů.

Popis základních frakcí plastů vhodné pro materiálové využití.

Rešerše trhu s druhotnou surovinou se zaměřením na cenový vývoj.

Vytvoření technicko–ekonomického modelu recyklační linky

Příprava vhodných scénářů pro hodnocení provozu v rámci technicko–ekonomického modelu.

### **Seznam doporučené literatury:**

Ministerstvo životního prostředí ČR: Plán odpadového hospodářství ČR pro období 2015 – 2024. Prosinec 2014, dostupné na [www: http://www.mzp.cz/cz/plan\\_odpadoveho\\_hospodarstvi\\_cr](http://www.mzp.cz/cz/plan_odpadoveho_hospodarstvi_cr).

European Union IPPC: Best Available Techniques (BAT) Reference Document on Waste Treatment. Srpen 2018. Dostupné na [www: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/wt.html](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/wt.html).

BEŇO, Zdeněk. Recyklace: efektivní způsoby zpracování odpadů. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního a ekologického inženýrství, 2011. ISBN 978-80-2-4-4240-5.

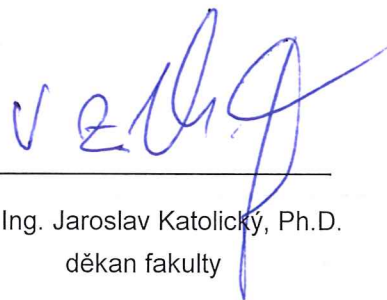
Circular economy strategy – Environment – European Commission. Available online: [http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm)

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20.

V Brně, dne 27. 9. 2019



prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.  
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá současnou situací nakládání s materiálově využitelnými komunálními odpady se zaměřením na různé druhy plastů. V teoretické části je věnována pozornost platné legislativě v dané oblasti, analýze současné situace na území České republiky a porovnání se situací v ostatních státech Evropské Unie. V další části jsou popsány základní frakce plastů a jejich vlastnosti. Jsou popsány problémy při zpracování plastů a jejich rizika. Dále je popsán komplexní řetězec zpracování plastového odpadu, od jeho vzniku až k výrobě produktů z recyklovaného materiálu. Je popsán princip recyklační linky, kde dochází k přepracování výstupního materiálu z dotřídňovacích linek v druhotně využitelný materiál v podobě vloček nebo regranulátu. V této části práce je vysvětlena funkce technologie recyklační linky a detailně popsány jednotlivé technologické zařízení linky.

V praktické části práce je vytvořen technicko-ekonomický model recyklační linky, s cílem možnosti využití pro bilanční výpočty recyklace a následné ekonomické vyhodnocení provozu recyklačního zařízení. V rámci modelu byla provedena rešerše trhu s druhotnou surovinou se zaměřením na cenový vývoj. Následně jsou na model aplikovány citlivostní analýzy vybraných parametrů a vyhodnocen vliv jednotlivých scénářů na ekonomické výsledky zařízení.

## Klíčová slova

Druhotná surovina, energetické využití odpadu, nakládání s odpady, plast, recyklace, recyklační linka, technicko-ekonomický model, využití energie.

## Abstract

This master thesis deals with the current situation of waste management of material usable municipal waste with focus on various fractions of plastics. The theoretical part summarises the legislation of waste treatment, also contains an analysis of the current situation of waste management in the Czech Republic and comparison the situation in the European Union. In the next part of thesis are described basic fractions of plastics and their properties. There are mentioned the current problems with plastics processing and the risks of leakage to the environment. Furthermore, a complex chain of plastic waste reprocessing is described, since the inception of plastics waste to the manufacture of products made from recycled plastics. The most attention is paid to the discription of recycling plant, where the output material from sorting lines is reprocessed into a secondary material in the form of flakes or granules. Also this part is focused on the technology of recycling line and the individual devices are described.

In the practical part of the thesis is created techno-economic model of recycling line with the aim of its use for balance calculations of recycling and also economic evaluation. As a part of the model was made a market research of secondary raw materials with a focus on price development. Subsequently, sensitivity analyzes of selected parameters are applied to the model and the impact of scenarios on the economic results are evaluated.

## Keywords

Secondary raw material, energy recovery of waste, waste management, plastics, recycling, recycling line, techno-economic model, energy utilization.

## **Bibliografická citace**

DUFKA, Martin. *Efektivní návrh a provoz recyklační linky jako prvek komplexního odpadového řetězce*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/123795>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jiří Gregor Ph.D.

## **Prohlášení o původnosti**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Efektivní návrh a provoz recyklační linky jako prvek komplexního odpadového řetězce“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jiřího Gregora, Ph.D. a s použitím odborné literatury a pramenů, které jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Brně dne 04.10.2019

.....

Bc. Martin Dufka

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Jiřímu Gregorovi, Ph.D. za vstřícnost, ochotu, obětovaný čas a veškeré rady v průběhu zpracování diplomové práce.

Poděkování patří také mým rodičům a všem blízkým za všestrannou pomoc a trpělivost po celou dobu mého studia.

## OBSAH

1	ÚVOD .....	10
1.1	Motivace a cíle práce.....	12
2	LEGISLATIVA ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ ČR.....	14
3	VÝSLEDKY SYSTÉMU SBĚRU A RECYKLACE ODPADU V ČR.....	16
4	PLAST JAKO KLÍČOVÁ SUROVINA .....	19
4.1	Polymery a jejich typy.....	20
4.2	Rozdělení polymerů dle jejich vzniku.....	21
4.3	Rozdělení plastů .....	22
4.3.1	Polyolefiny.....	23
4.3.2	Vinylové plasty.....	25
4.3.3	Styrenové plasty .....	26
4.3.4	Polyestery .....	27
4.4	Recyklační piktogramy .....	30
4.5	Biodegradabilní plasty a bioplasty .....	31
4.5.1	Problematika biodegradabilních plastů .....	32
5	PLASTY V OCEÁNECH.....	33
6	TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ PLASTOVÉHO ODPADU SE ZAMĚŘENÍM NA KOMPLEXNÍ ŘETĚZEC.....	36
6.1	Původ plastového odpadu.....	40
6.1.1	Podíl plastového odpadu v KO .....	40
6.2	Sběr oddělitelných složek.....	42
6.3	Zpracování využitelných složek na dotřídňovací lince .....	43
6.4	Recyklační linka .....	46
6.4.1	Dopravníky .....	48
6.4.2	Drtič .....	49
6.4.3	Frikční pračka .....	50
6.4.4	Mycí a flotační nádrž .....	51
6.4.5	Odvodňovací systémy.....	52
6.4.6	Skladovací silo.....	53
6.4.7	Aglomerátor.....	54
6.4.8	Granulační extrudér .....	55
6.4.9	Peletizace .....	57
6.5	Výroba produktů z recyklátu.....	58



7	TECHNICKO - EKONOMICKÝ MODEL RECYKLAČNÍ LINKY .....	61
7.1	Investiční náklady .....	63
7.2	Trh s plasty .....	68
7.2.1	Role Číny na trhu s plasty.....	71
7.3	Provozní náklady.....	72
7.4	Materiálová bilance .....	74
7.5	Ekonomické vyhodnocení provozu .....	77
8	VÝSLEDKY TECHNICKO - EKONOMICKÉHO MODELU .....	79
8.1	Porovnání linky s výstupem v podobě „vloček“ a regranulátu .....	79
8.2	Citlivostní analýza vybraných parametrů.....	83
8.3	Nalezení zlomového bodu množství zpracovaného materiálu u jednotlivých frakcí....	91
9	ZÁVĚR .....	96
	SEZNAM OBRÁZKŮ: .....	105
	SEZNAM TABULEK:.....	108
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK: .....	109
	SEZNAM PŘÍLOH:.....	110

# 1 ÚVOD

Každý den vzniká lidskou činností velké množství odpadu, a jejich množství se zvyšuje v reakci na hospodářský růst, rozvoj průmyslu a zvyšování populace na naší planetě. Vyrůstající produkce odpadu je spojena zejména s rychle se rozvíjející konzumní společností, kdy jsou lidem produkty, nejrůznějšího typu, neustále dostupnější, ovšem jejich životní cyklus se často zkracuje a většinou již po prvním použití ztrácí svůj účel a z výrobku se stává odpad.

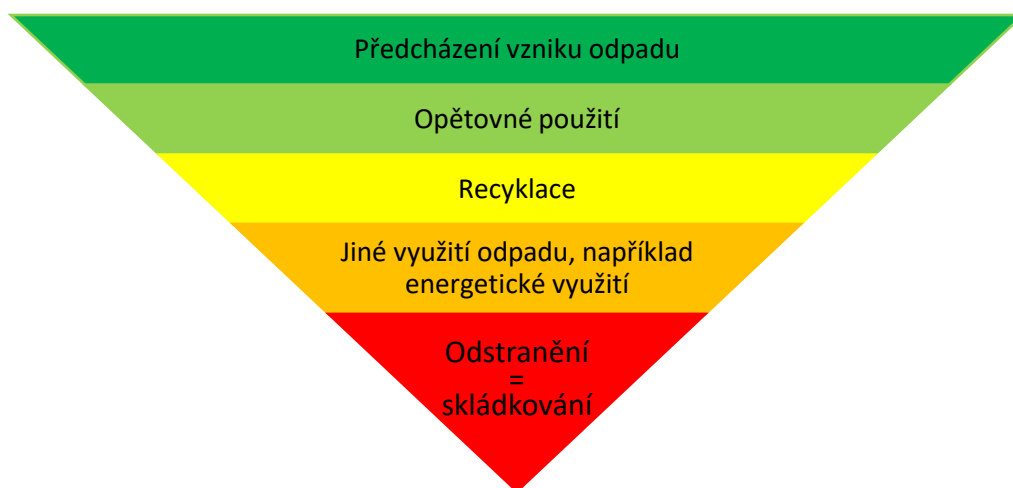
Následné zpracování odpadu, resp. jeho odstranění se stává stále obtížnějším zejména z důvodu heterogenního složení, ale i z pohledu ekonomického (náročnější technologické koncepty). Náklady na zpracování odpadu často převyšují zisky, které z přepracování odpadu plynou (druhotná surovina, nový produkt). Následkem toho je fakt, že i když žijeme v době značného technologického pokroku, velká část zemí stále řeší otázku nakládání s odpady jejich odstraněním na skládku, kde jsou ponechány bez jakéhokoliv dalšího využití. Takové nakládání s odpadem představuje nejenom značné plýtvání s přírodními zdroji, ale také obrovskou zátěž pro životní prostředí a budoucí generace. Odpad uložený na skládkách je rizikem z důvodu možnosti úniku nebezpečných látek do ovzduší (emisní zátěž), kontaminace půdy nebo průsaku do podzemních vod. Z těchto důvodů je snaha vyspělých zemí najít co nejvhodnější řešení odpadového hospodářství, zejména s cílem předcházení vzniku a omezení vzniku odpadu a jeho následné odstranění s minimalizováním dopadu na životní prostředí. Výhodou může být zisk energie (elektrická, tepelná) při odstranění odpadu.[1]

Nalezení vhodného řešení vyžaduje zavedení zcela nových technologických postupů a změnu celkového pohledu na odpady, aby na ně již nebylo pohlíženo jako na nutné zlo, ale byl využit potenciál vzniklého odpadu a stala se z něj hodnotná surovina. Příkladem může být opětovné využití výrobků (tzv. znovuvyužití), recyklace, přeměna odpadu na původní surovinu nebo energetické využití odpadu. [2] Vhodnost jednotlivých způsobů využití odpadu se řídí dle **hierarchie nakládání s odpady**, která je obsahem základního právního dokumentu o odpadovém hospodářství v České republice, kterým je Zákon č.185/2001 Sb., Zákon od odpadech a o změně některých dalších zákonů, ze dne 15. května 2001 (dále jen „Zákon o odpadech“). Na Obr. 1 je graficky vyjádřena hierarchie nakládání s odpady a přesné znění dle Zákona o odpadech je následující: [3]

## § 9a Hierarchie způsobů nakládání s odpady

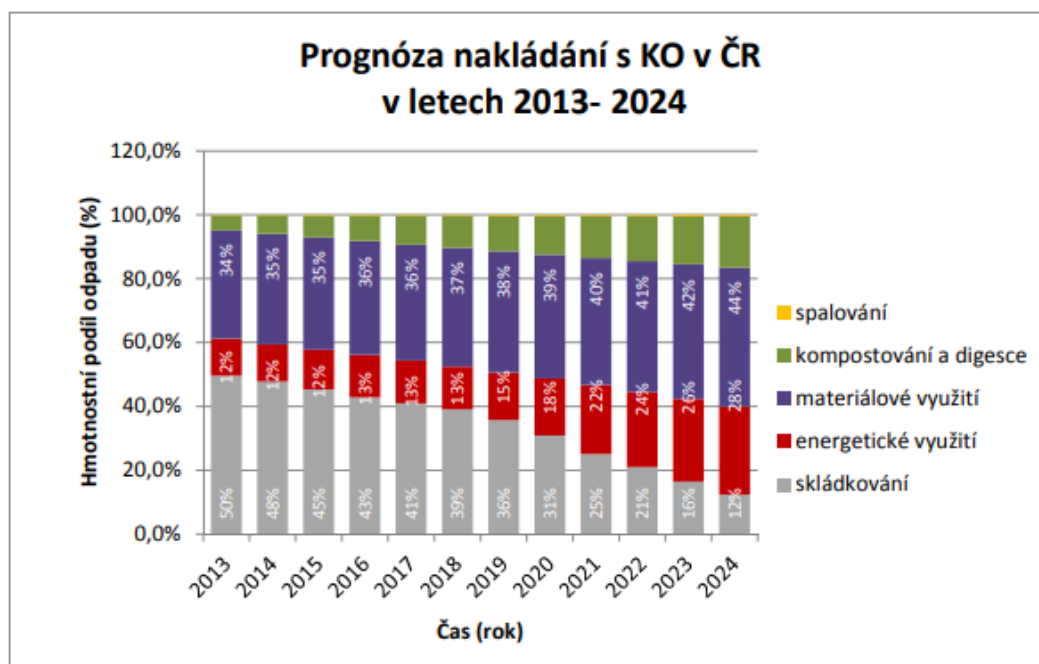
*(1) V rámci odpadového hospodářství musí být dodržována tato hierarchie způsobů nakládání s odpady:*

- a) předcházení vzniku odpadů,*
- b) příprava k opětovnému použití,*
- c) recyklace odpadů,*
- d) jiné využití odpadů, například energetické využití,*
- e) odstranění odpadů.*



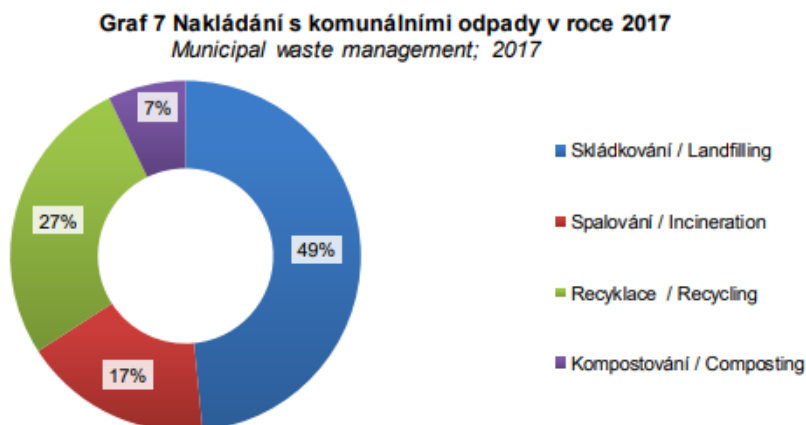
*Obr. 1: Hierarchie nakládání s odpadem. [2]*

Na nejvyšším stupni v hierarchii nakládání s odpadem je **předcházení vzniku odpadu**, což může být například omezení plýtvání, zodpovědné chování spotřebitelů, alternativní způsoby využití výrobků, využití bezodpadových technologií, a další. Pokud již není možné vzniku odpadu zabránit, dalším nejvíce preferovaným způsobem jeho zpracování je **opětovné použití**. Jedná se o proces, při kterém jsou výrobky nebo jejich části opětovně využity k totožnému účelu, kterému byly prvotně určeny. Příkladem takových výrobků mohou být vratné skleněné láhve, nabíjecí baterie, a další. Třetím stupněm je **recyklace**, jde o proces přepracování odpadu, který vede k opětovnému znovuvyužití jako druhotné suroviny ve výrobním procesu. Další možností zpracování odpadu je **alternativní využití odpadu**, nejčastěji se jedná o energetické využití odpadu (dále jen „EVO“) za účelem získání elektřiny a tepla. Posledním, nejméně chtěným, ale v ČR bohužel zatím neustále dominujícím způsobem nakládání s odpadem je jeho uložení na skládku (**skládkování**). Na Obr. 2 je prognóza nakládání s komunálním odpadem (dále jen „KO“), která je obsahem plánu odpadového hospodářství ČR (dále jen „POH“). Na základě této prognózy by měl postupně klesat podíl skládkování směřující k roku 2024, kdy by měl vstoupit v platnost zákaz skládkování. V letošním roce se ovšem objevily informace, dle kterých je pravděpodobný posun tohoto termínu až na rok 2030. Důvodem má být nedostatečná připravenost měst a obcí na zvýšenou míru třídění s následnou recyklací a zároveň i nedostatečná kapacita zařízení EVO. [2]



Obr. 2: Prognóza nakládání s KO v ČR v letech 2013 – 2024. [2]

Pro porovnání prognózy a aktuálních výsledků nakládání s KO je vytvořen Obr. 3, na kterém jsou shrnuty výsledky za rok 2017 dle Českého statistického úřadu (dále jen „ČSÚ“). V porovnání s prognózou je zřejmé, že podíl skládkování se oproti předpokladu tak rychle nezmenšuje a nadále stagnuje na 49 %. [4] Podíl energeticky využitého odpadu se zvýšil na základě zprovoznění nové energetické koncovky v Plzni o kapacitě 95 000 tun/r v roce 2016. Z hlediska předpokládaného nárůstu u kompostování a recyklace je trend posledních let pozitivní, kdy postupně dochází k mírnému nárůstu podílu těchto dvou typů na zpracování odpadu, ovšem stále nedosahují hodnot předpokládaných v prognóze. [4]

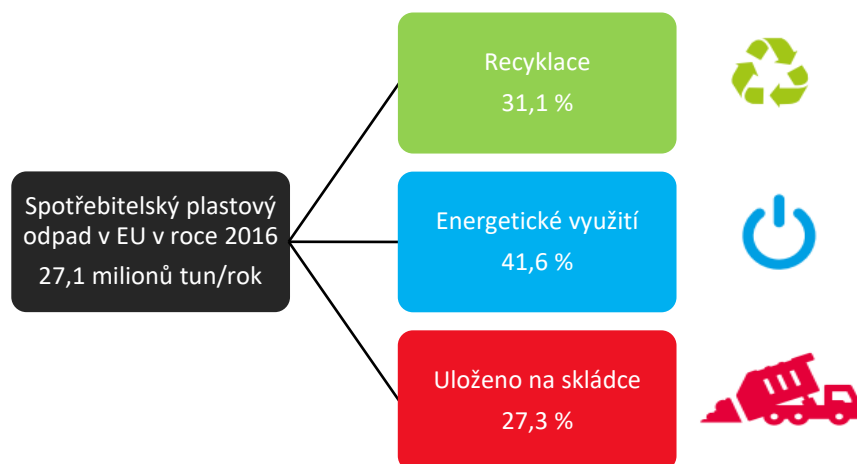


Obr. 3: Reálné výsledky nakládání s KO v ČR v roce 2017 dle ČSÚ. [4]

## 1.1 Motivace a cíle práce

V současné době je nejvíce skloňovanou surovinou, z hlediska recyklace, plast. Je to dáno především stále nízkou hodnotou podílu recyklace na celkovém zpracování plastů v porovnání s ostatními materiály, jako je např. papír, sklo nebo kovy. I přesto, že v EU je nakládání s plastovým odpadem věnována značná pozornost, ukazuje se, že k dosažení cirkulárního materiálového řetězce stále u většiny typů plastů nedochází. [1] V samotné EU se v roce 2016 podařilo zrecyklovat pouze 31 % spotřebitelského plastového odpadu a byl to teprve první rok,

kdy byl podíl recyklace vyšší než podíl plastu uloženého na skládky. Na Obr. 4 je zobrazeno nakládání se spotřebitelským plastovým odpadem v EU v roce 2016. [5]



*Obr. 4: Tok spotřebitelského plastového odpadu v EU + Norsko, Švýcarsko v roce 2016. [5]*

Důvodů k horším výsledkům recyklace je hned několik, jedním z těch hlavních je problém velkého množství druhů používaných plastových materiálů a nutnost jejich dokonalého oddělení před procesem samotné recyklace (zejména kvalitní dotřídění). Další překážkou je složení plastových výrobků z různých typů plastu (kompozitní materiály)<sup>1</sup>, takový produkt je pak velice obtížné a zejména ekonomicky náročné recyklovat, v některých případech je to při použití stávajících metod dokonce nemožné. Recyklace plastů se z těchto důvodů stává nákladnou a leckdy ekonomicky natolik nerentabilní, že je jednodušší výrobky energeticky využít nebo uložit na skládku. Na základě výše uvedených faktů byly stanoveny následující cíle práce: [1]

- Popis postupů pro nakládání s materiálově využitelnými komunálními odpady se zaměřením na různé frakce plastů.
- Popis základních frakcí plastů vhodné pro materiálové využití.
- Rešerše trhu s druhotnou surovinou se zaměřením na cenový vývoj.
- Vytvoření technicko-ekonomického modelu (dále jen „TE model“) recyklační linky
- Příprava vhodných scénářů pro hodnocení provozu v rámci TE modelu.

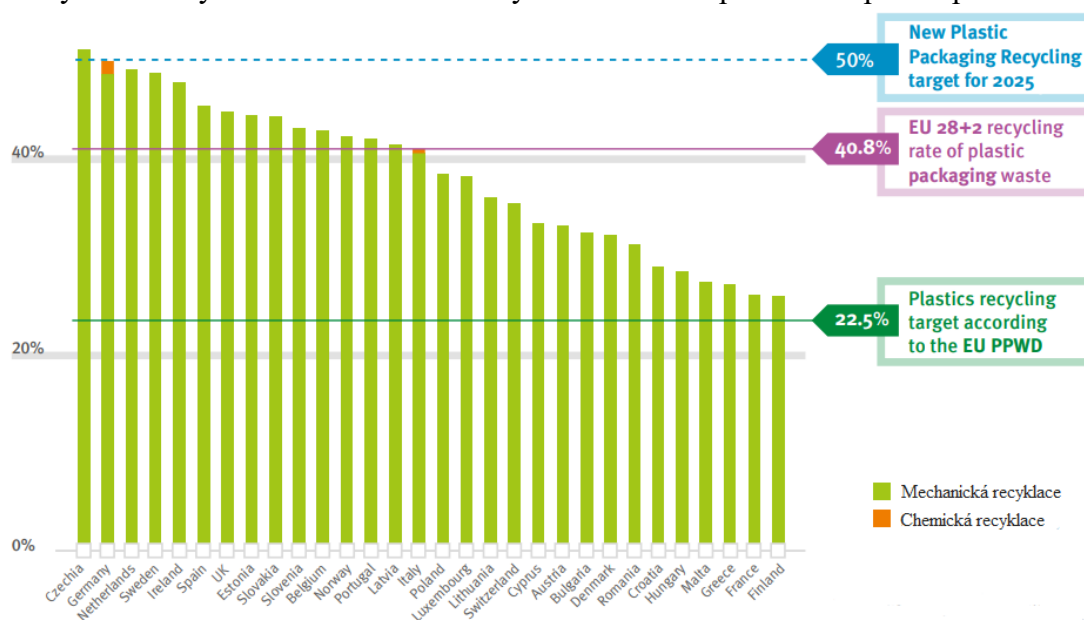
V teoretické části práce je shrnutí informací o důvodech tak masivního využití plastového materiálu, ale i problémy s jeho použitím a dopady na životní prostředí. Následně jsou popsány aktuální postupy a možnosti nakládání s plastovým odpadem. Obsahem teoretické části je i detailní popis vlastností nejčastěji se vyskytujících frakcí plastů. Jedním z hlavních cílů práce je ekonomické vyhodnocení provozu, ve kterém probíhá zpracování materiálu z dotřídňovacích linek do podoby tzv. vloček nebo regranulátu. K tomuto účelu je cílem vytvořit TE model, který by měl co nejreálněji simulovat provoz těchto zařízení. Součástí je tak i provedení rešerše trhu s druhotnou surovinou recyklovaného plastového materiálu. Výsledky jsou následně porovnány v rámci modelu pro jednotlivé scénáře simulující různé varianty provozu.

<sup>1</sup> Kompozitní materiál je složen ze dvou nebo více složek, které se výrazně odlišují svými fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Jejich spojením je dosaženo vzniku unikátních vlastností, kterých není možné dosáhnout použitím pouze jedné ze složek.

## 2 LEGISLATIVA ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ ČR

V ČR je základním právním předpisem o nakládání s odpady **Zákon o odpadech**. Tento zákon ustanovuje práva a povinnosti osobám v oblasti odpadového hospodářství, především klade důraz na předcházení vzniku odpadu, určuje hierarchii nakládání s odpady a prosazuje principy ochrany životního prostředí a zdraví lidí při nakládání s odpady. Pro ČR byl v roce 2014 schválen strategický plán v oblasti odpadového hospodářství na následujících deset let, dokument „**Plán odpadového hospodářství České republiky na období 2015 – 2024**“, zpracovává současnou situaci a jsou v něm obsaženy také prognózy produkce a nakládání s odpady v následujících letech. Plán počítá také s cíli, kterých by mělo být dosaženo na konci tohoto období a byly tak splněny závazky vůči EU. [2]

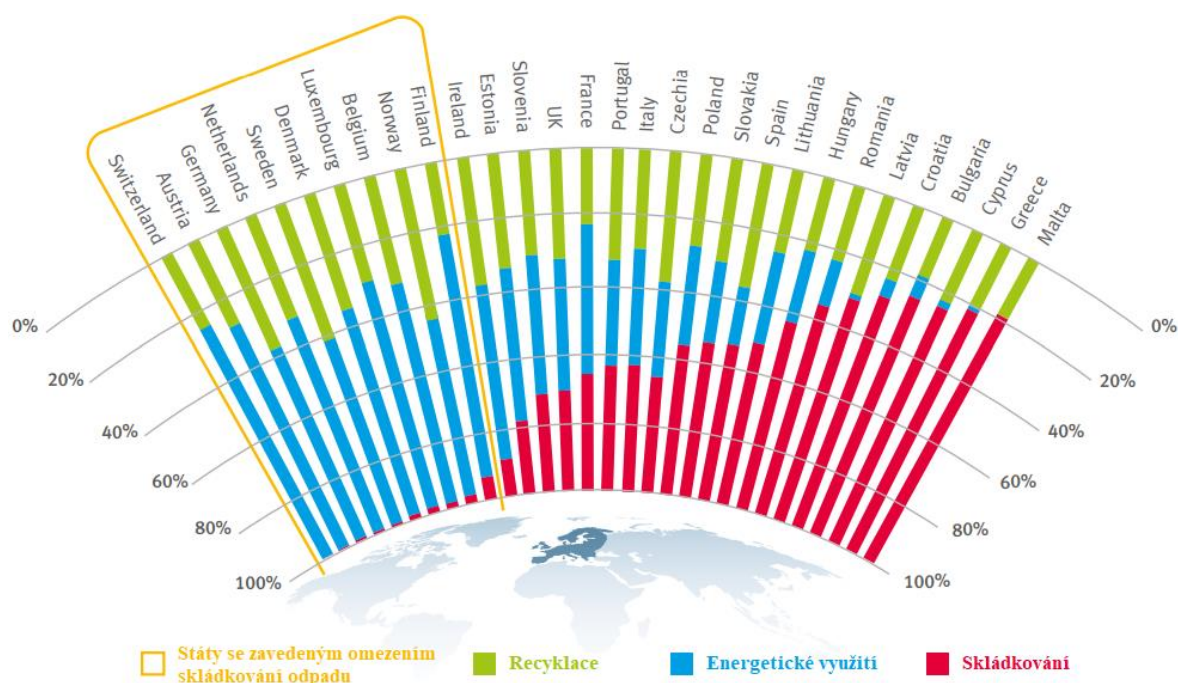
V roce 2018 byl definitivně Evropským parlamentem schválen nový balíček oběhového hospodářství<sup>2</sup> s několika novými směnicemi. EU by se ráda díky novým pravidlům stala příkladem správného a udržitelného odpadového hospodářství a recyklace. Mezi hlavní cíle patří předcházení vzniku odpadu, zvýšení recyklace KO a obalových odpadů, omezení skládkování nebo podpora zpracovatelů druhotných surovin. Jedním z cílů je omezit skládkování KO na hodnotu 10 % z celkové produkce KO do roku 2035. Balíček obsahuje rovněž nové cíle pro recyklaci obalových materiálů. Ty se postupně zpřísňují, pro rok 2025 je požadováno dosáhnout 65 % recyklace všech obalových materiálů, konkrétně pro plasty je to 50 %. V roce 2035 je cílem dosáhnout již 70 % recyklace všech obalových materiálů, konkrétně pro plasty je to 55 %. [6] V grafu na Obr. 5 je zobrazena míra recyklace plastových obalů v zemích EU pro rok 2016. Průměrná hodnota recyklace plastových obalů v rámci EU dosahuje za rok 2016 téměř 41 %, státy s nejlepšími výsledky již splňují cíle pro rok 2025. Na druhém konci je ovšem poměrně velké množství zemí, ve kterých systém recyklace nedosahuje tak dobrých výsledků a tyto země budou muset vynaložit mnoho prostředků pro zlepšení.



Obr. 5: Recyklace plastových obalů v rámci zemí EU v roce 2016. [5]

<sup>2</sup> Nový balíček oběhového hospodářství - Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/852 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 94/62/ES o obalech a obalových odpadech. Zdroj: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=OJ:L:2018:150:FULL&from=EN>

Je zřejmé, že k dosažení cílů, ke kterým se EU zavázala, nebude jednoduchá cesta a bude zapotřebí velkých investic do nových technologií, které budou recyklaci plastového odpadu usnadňovat. Současně bude potřeba nejen motivovat spotřebitele k zodpovědnému chování, ale je zapotřebí také usnadnit zpracovatelským provozům samotnou recyklaci. Velké možnosti jsou určité ve sjednocení designu výrobků a jejich složení (ideální je jedno druhový plast), tak aby recyklace byla co nejsnadnější. Bude potřeba zlepšení spolupráce v celém řetězci oběhového hospodářství, zejména pak mezi výrobcí plastových produktů, jejich prodejci a samozřejmě i jejich zpracovateli, aby bylo dosaženo cílů, které si EU vytyčila. [1] Mezi zeměmi EU jsou v současné době značné rozdíly v nakládání se spotřebním plastovým odpadem, shrnutí aktuální situace je zobrazena na Obr. 6. Státy, ve kterých byly zavedeny omezení pro skládkování KO, dosahují v průměru lepších výsledků v rámci recyklace plastového odpadu, současně je nutné uvést, že se v těchto zemích prosadilo EVO. [5]



Obr. 6: Shrnutí nakládání se spotřebitelským plastovým odpadem v zemích EU v roce 2016. [5]

### 3 VÝSLEDKY SYSTÉMU SBĚRU A RECYKLACE ODPADU V ČR

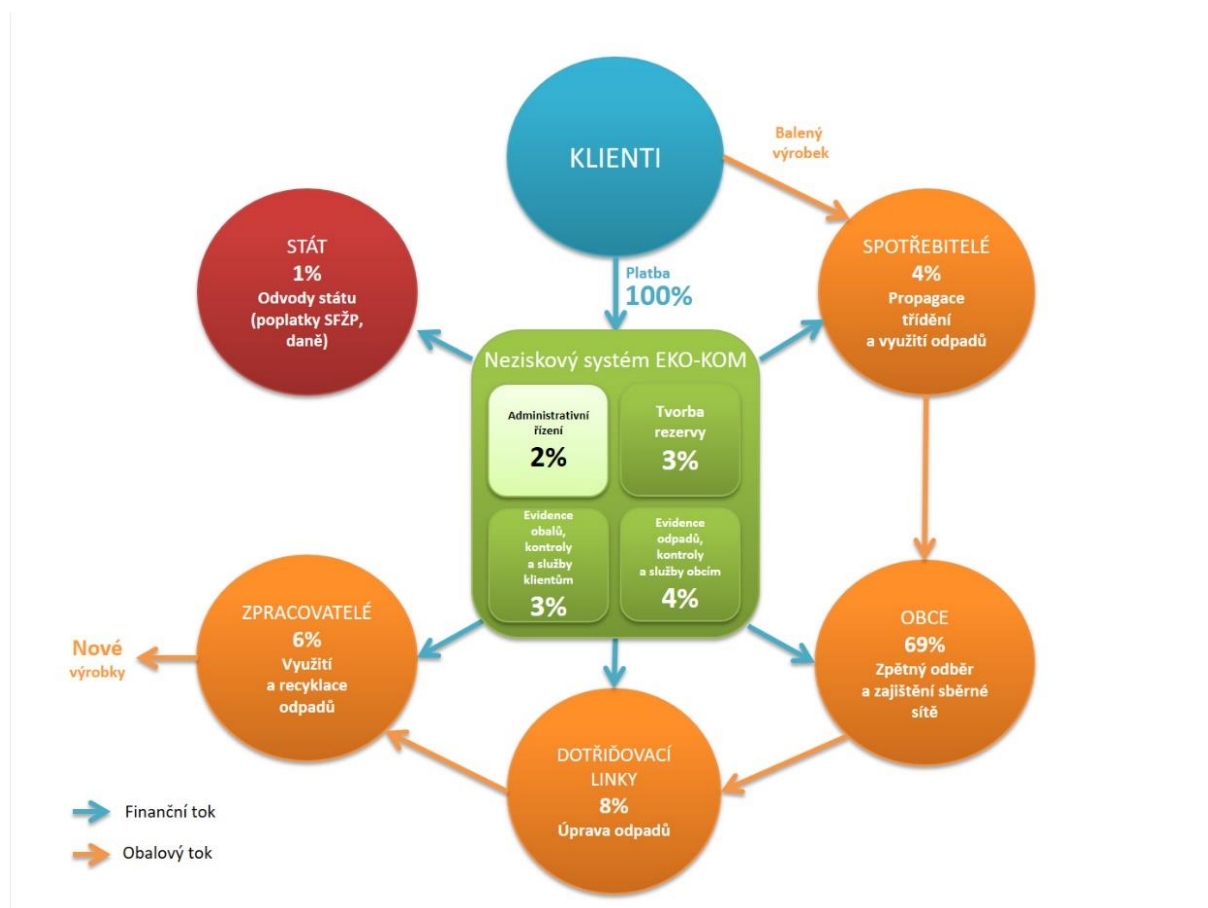
V ČR se podporou systému sběru a nakládáním se separovaným odpadem zabývá společnost EKO-KOM, ta funguje v ČR již od roku 1997 a její založení souvisí s uvedením zákona č. 125/1997 Sb., o odpadech (zrušen ke dni 01. 01. 2002, následně nahrazen Zákonem o odpadech). Důvodem pro založení bylo vytvoření systému, který by zajišťoval využívání obalového odpadu. V současnosti je společnost EKO-KOM autorizovaná obalová společnost zajišťující plnění povinnosti zpětného odběru a využití odpadu z obalů. Povinnost zpětného odběru obalového odpadu a jeho následného využití mají dle zákona všechny osoby, které obaly nebo balené výrobky uvádějí na trh. Tato společnost s odpadem fyzicky nenakládá, ale pomáhá s financováním pro potřeby sběru, svozu, třídění a využití obalového odpadu. [7]

Příjmy společnosti EKO-KOM vycházejí ze zákonné povinnosti odběru a využití odpadu z obalů všech subjektů dodávajících na trh nebo do oběhu obaly nebo balené výrobky. S těmito subjekty je uzavřena „Smlouva o sdruženém plnění“ a dle údajů o množství produkováných obalů jsou vypočítány odměny, které jsou společnosti EKO-KOM následně vypláceny. [7]

Na druhé straně řetězce jsou s jednotlivými obcemi uzavírány „Smlouvy o zajištění zpětného odběru a recyklaci odpadu z obalů“. Povinností obcí je vedení evidence o množství vybraného obalového odpadu a dle této evidence je následně společností EKO-KOM vyměřen finanční příspěvek na systém sběru, třídění a využití obalového odpadu. [7]

Na Obr. 7 je shrnut celkový řetězec fungování společnosti EKO-KOM i s procentuálním vyjádřením jednotlivých finančních toků. Kromě již zmíněných finančních příspěvků obcím, které tvoří 69% investic, je kladen důraz na vzdělávání obyvatel a poskytnutí více informací o sběru a recyklaci odpadu. Další část investic je věnována subjektům starajícím se o úpravu a zpracování recyklovaných komodit, toto je velice důležitá část řetězce, jelikož množství vytríděného odpadu se každý rok zvyšuje, je potřeba zajistit adekvátní počet nejen dotřídňovacích linek ale i dostatečný počet zpracovatelů recyklovaného odpadu. Tím bude zajištěn odbyt recyklovaného materiálu a zároveň by to mělo vést k lepší situaci na trhu s recyklovanými materiály. [8]

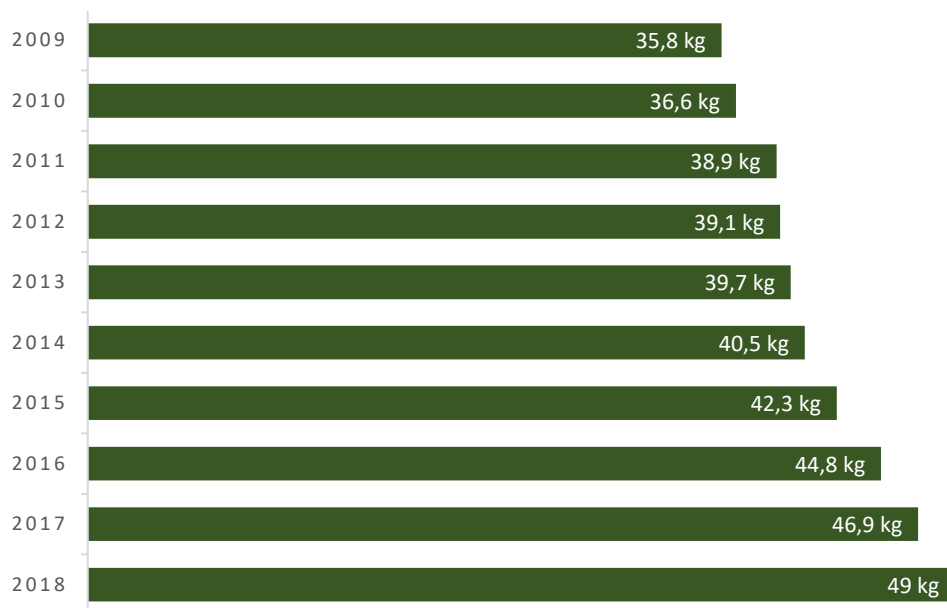




Obr. 7: Řetězec systému EKO-KOM. [8]

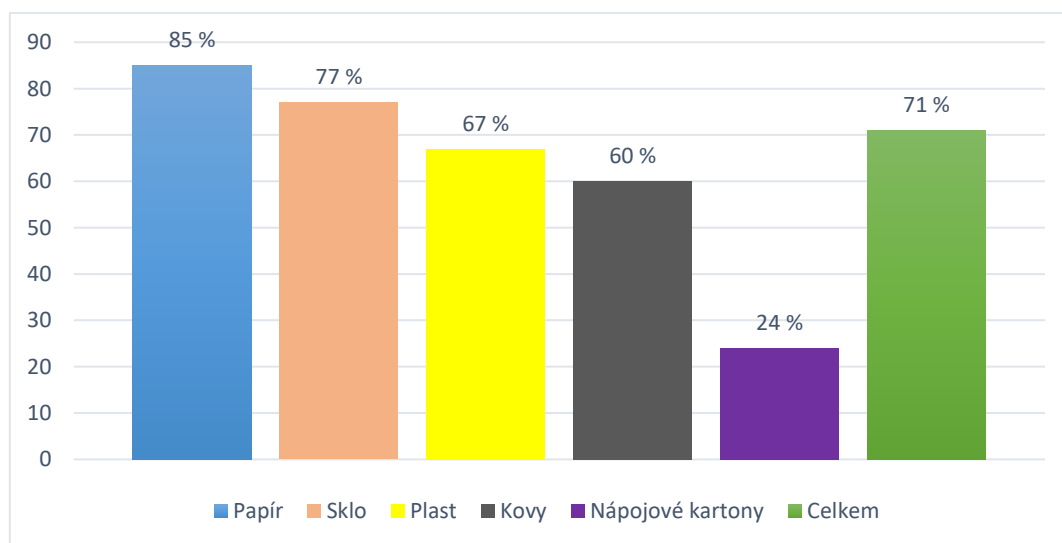
Se společností EKO-KOM spolupracuje aktuálně přes 20 000 firem, které v ČR vyrábí nebo dováží obalované zboží. Na druhé straně řetězce je pod spoluprací zapsáno 6123 obcí a díky společné spolupráci výrobců, obcí, úpravců a zpracovatelů může recyklovat odpad až 99 % obyvatel ČR. Poslední data společnosti EKO-KOM jsou dostupná pro rok 2018 a potvrzují pozitivní trend ve zvyšování množství vytríděného odpadu. Dle grafu na Obr. 8 lze vidět, jak se každý rok zvyšuje množství vytríděného odpadu z „barevných“ kontejnerů. V roce 2018 tak každý obyvatel ČR vytrídil 49 kg plastů, papíru, skla a nápojových kartonů. Pokud bychom do tohoto čísla započítali ještě množství vytríděných kovů, dosáhneme 62,9 kg vytríděného odpadu na obyvatele. [9]

Množství vytríděného odpadu se ovšem nerovná množství odpadu, který je následně i recyklován, odpad je nutné dotřídit. Nejlepších výsledků dosahuje recyklace papírových obalů, u kterých je dosahováno až 99 % účinnosti využití. U skleněných obalů jsou výsledky podobné jako u papíru, materiálového využití dosahuje 97 %. V případě plastových obalů je situace složitější, míra materiálového využití u vytríděných plastových obalů v systému EKO-KOM je asi 65 %. Asi 16 % je využito k výrobě alternativních paliv, které nejčastěji slouží jako palivo pro cementárny a teplárny. Stejný podíl, tedy 16 % končí na skládkách a zbylá 3 % putují do zařízení EVO. [9]



Obr. 8: Množství vytríděného odpadu v kg (papír, sklo, plast, nápojové kartony)/obyvatel za rok. [9]

V roce 2018 celková míra recyklace obalů v rámci systému společnosti EKO-KOM dosáhla 71 %. Nejlepších výsledků bylo dosaženo u vytrídění papíru, následuje sklo, plasty, kovy a nejhoršího výsledku bylo dosaženo u nápojových kartonů. U nápojových kartonů je problémem vícevrstvý kompozitní materiál, ze kterého jsou vyrobeny. Takový obal je technologicky poměrně náročné zpracovat, musí se nadrtit, oddělit jednotlivé složky a poté teprve zpracovat. Výsledky za rok 2018 i s jednotlivým procentuálním vyjádřením je na Obr. 9. [9] V rámci Evropy jde o velice kvalitní čísla, a to nejen z pohledu dosahované míry recyklace ale i z hlediska nákladů v přepočtu na jednoho obyvatele za rok. V ČR systém sběru a využití obalových odpadů po přepočtu ročně stojí asi 5 EUR za každého obyvatele. Pokud zohledníme sousední Německo nebo Rakousko, zde jsou náklady i několika násobně vyšší, konkrétně v Německu je potřeba na sběr a recyklaci za jednoho obyvatele vynaložit 12 EUR a v Rakousku dokonce až 20 EUR. Z ekonomického hlediska je tedy systém v Česku jedním z nejefektivnějších. [10]



Obr. 9: Dosažená míra recyklace dle typu obalu v roce 2018 v systému EKO-KOM. [9]

## 4 PLAST JAKO KLÍČOVÁ SUROVINA

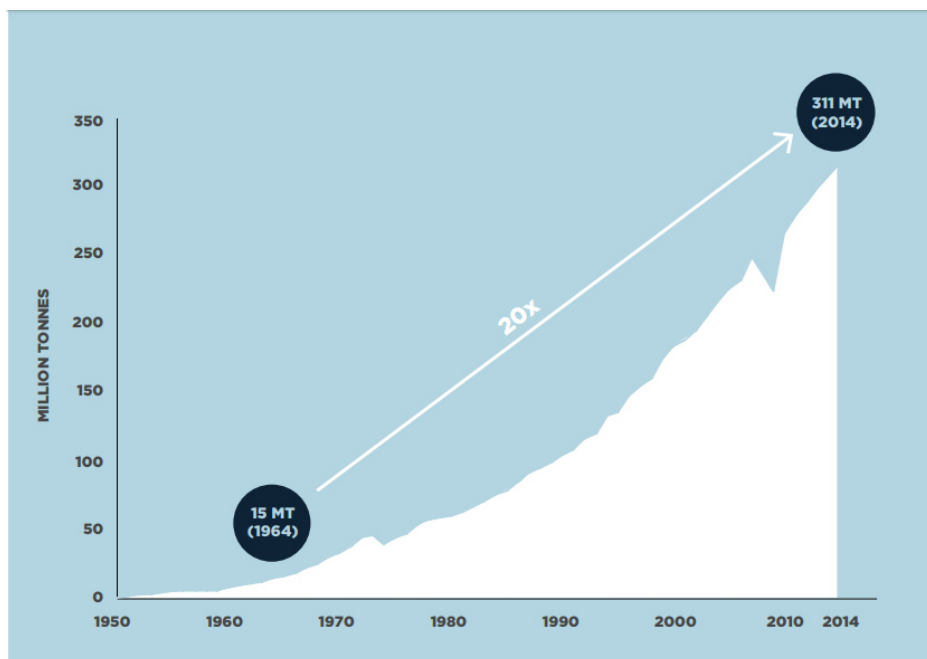
Nedílnou součástí odpadu se stal plast, jeho podíl v celkovém objemu odpadu se v každé oblasti liší. Celosvětově se ale plast stal nepostradatelným a jeho produkce roste až neuvěřitelným tempem. Ještě v polovině 20. století činila roční celosvětová produkce plastů asi 2 miliony tun, zatímco v roce 2017 tato hodnota narostla na téměř 350 miliónů tun plastového materiálu. Není proto divu, že se často dnešní doba označuje jako „doba plastová“. Plast se stal všudypřítomným materiálem ve všech odvětvích kombinující jeho bezkonkurenční funkční vlastnosti s nízkými náklady. Navzdory veškerým výhodám, momentálně největším problémem je nakládání s plasty po jejich použití. [1]

Plasty jsou stále více využívány napříč celou ekonomikou a pro některá odvětví slouží jako klíčový materiál. Na Obr. 10 je shrnuta poptávka v rámci Evropské unie + Norska, Švýcarska. Největší část poptávky je tvořena zejména obalovým odvětvím, následuje stavebnictví, automobilový průmysl a dalším významným spotřebitelem je odvětví elektroniky. Díky vlastnostem plastů bylo v řadě odvětví dosaženo značné úspory na spotřebě paliv a snižují tak emise CO<sub>2</sub>, jako izolační materiály dosahují úspor na výdajích za energii a teplo, z hlediska obalového odvětví zajišťují čerstvost potravin a prodlužují tak dobu trvanlivosti některých potravin. [11]



*Obr. 10: Poptávka po plastech v roce 2015 v EU28 + Norsko, Švýcarsko. [11]*

Plasty přinesly do všech odvětví, kde se využívají velké ekonomické výhody kombinací nízkých výrobních a pořízovacích nákladů, univerzálnosti, dlouhé životnosti a vysokému poměru pevnosti k hmotnosti. Veškeré tyto vlastnosti se projevují v exponenciálním růstu jejich celosvětové produkce za posledního půl století. Jak lze vidět v grafu na Obr. 11, v období od roku 1964 vzrostla jejich výroba dvacetinásobně a v roce 2017 dosáhla hodnoty 348 milionů tun. Pokud poptávka po plastech poroste aktuálním tempem, očekává se, že v průběhu dalších 20 let se produkce opět zdvojnásobí. [1]



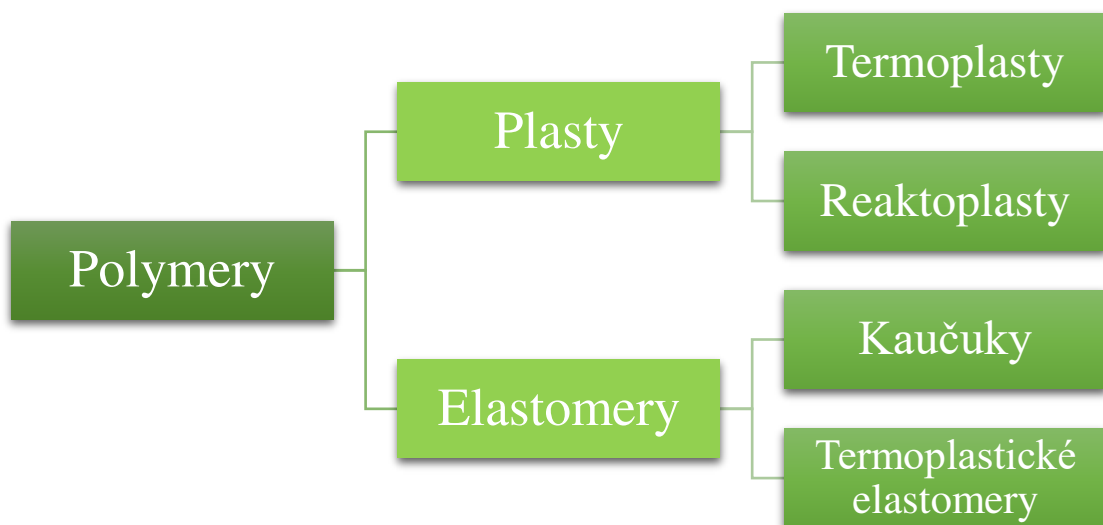
Obr. 11: Vývoj celosvětové produkce plastů („Million tonnes“ – miliony tun). [1]

#### 4.1 Polymery a jejich typy

Polymery lze rozdělit do dvou skupin, a to na plasty a elastomery. Na Obr. 12 je graficky zobrazeno základní rozdělení polymerů.

Plasty jsou za normálních podmínek považovány za tvrdý, často křehký materiál. Při působení vyšších teplot se plasty dají tvarovat a přecházejí do plastického stavu, z této zásadní vlastnosti pochází i jejich název. Podle reakce na zvýšenou teplotu je dále rozděluje na termoplasty a reaktoplasty. [12]

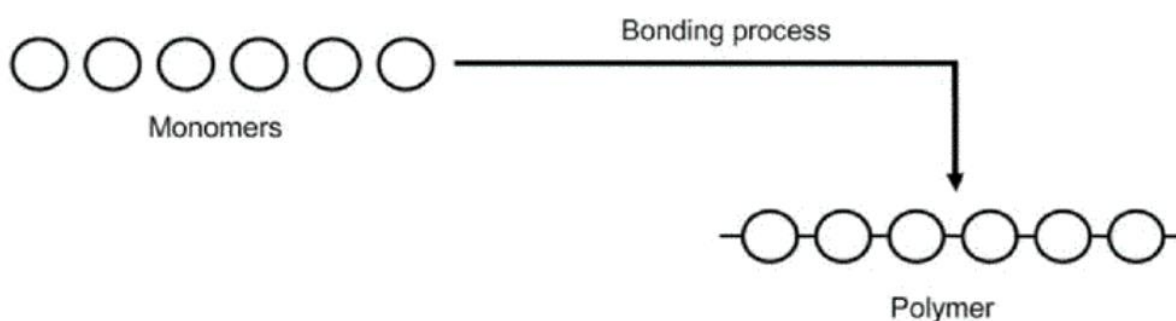
Elastomery jsou vysoce elastické polymery, které lze za normálních podmínek tvarovat bez porušení již při malém působení vnějších sil. Způsobená deformace je v tomto případě především vratná. Dále elastomery rozděluje na termoplastické elastomery a kaučuky. [12]



Obr. 12: Základní rozdělení polymerů. [12]

## 4.2 Rozdělení polymerů dle jejich vzniku

Veškeré plasty jsou tvořeny z polymerních materiálů. Polymery jsou skládány jednotlivými monomery spojenými dohromady v řetězec. Většina polymerů jsou organické materiály tvořené nejčastěji uhlíkem a vodíkem, mohou ale obsahovat i prvky jako kyslík, dusík, chlor a fluor. Tyto polymerní materiály lze nalézt v rostlinách, zvířatech nebo mohou být uměle vyráběny v laboratořích. Na Obr. 13 je proces vytvoření řetězce z jednotlivých monomerů do kompaktního polymeru. [13]



Obr. 13: Spojení monomerů do řetězce a vytvoření polymeru („Monomers“ – monomery, „bonding proces“ – proces spojení, „polymer“ – polymer). [13]

Na základě původu obecně polymerní materiály mohou být rozděleny do následujících tří kategorií:

- **Přírodní:** jedná se o materiály vyskytující se v přírodě nebo jsou extrahovány z rostlin a živočichů. Veškeré živé formy jsou založeny na existenci přírodních polymerů, v lidském těle se vyskytují ve formě proteinů nebo nukleové kyseliny. Dalšími příklady je např. celulóza, přírodní kaučuk, hedvábí, vlna nebo škrob. [16]
- **Polosyntetické:** definovány jako polymery, které mají původ v přirozeně se vyskytujících polymerech, ale prošly chemickou úpravou. Jako běžně se vyskytující lze uvést vulkanizovaný kaučuk, acetát celulózy nebo umělé hedvábí. Uplatnění těchto polymerů je především v textilním průmyslu. [16]
- **Syntetické:** polymery, které jsou vyráběny uměle v laboratořích. Typickými příklady syntetických polymerů je polyethylen (PE), polystyren (PS), polyamidy (nylon), polyvinylchlorid (PVC), syntetický kaučuk, teflon, epoxid a další. [14] Jako základní surovina pro jejich výrobu slouží uhlovodíky a jejich deriváty, které se získávají z ropy. Nejčastěji jsou tvořeny uhlíkatým skeletem s vazbami mezi dvěma atomy uhlíku (C-C). [16] K vytvoření syntetických polymerů lze dojít třemi různými chemickými cestami, jedná se o **polymeraci**, **polykondenzaci** nebo **polyadici**. U všech způsobů vzniku syntetických polymerů je zásadním krokem tzv. řetězení monomerů do vysokomolekulárních látek. [12]

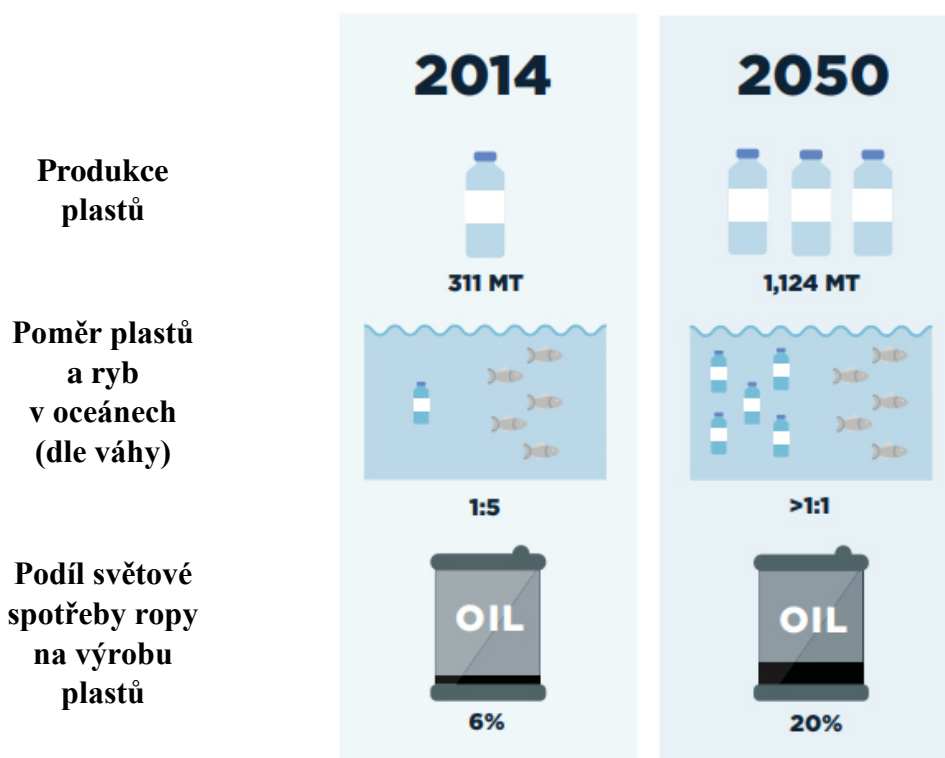
V případě **polymerace** se jedná o reakci, kdy spolu přímo reagují molekuly monomeru a jejich propojením dochází ke vzniku řetězové molekuly polymeru. Nedochází ke tvorbě vedlejších produktů a chemické složení polymeru zůstává totožné se složením monomerů.

Proces polymerace je rozdělen do tří stádií, jejich trvání ovlivňuje rychlost polymerace a velikost vytvářejících se makromolekul. Je to začátek reakce – iniciace, její růst – propagace a ukončení – terminace. Aby mohla být reakce zahájena, je potřeba do procesu dodat aktivační energii, která reagující látky přivede do aktivní formy. Tato aktivační energie může být ve formě tepla, záření nebo aktivační látky – tzv. iniciátoru. [12]

**Polykondenzace** je stejně jako polymerace chemická reakce, kdy ze dvou nízkomolekulárních látek vznikne polymer a k tomu se ještě navíc odštěpí jiná nízkomolekulární látka, nejčastěji voda. Chemické složení polymeru a původních monomerů je tedy odlišné. Oproti polymeraci je rychlost reakce podstatně menší. [12]

Třetí možnost syntetické výroby polymerů je **polyadice**. Jedná se o stupňovitou reakci mezi dvěma různými druhy monomerů, které v molekule obsahují reaktivní atomové skupiny. Při reakci nevznikne žádný vedlejší odštěpující se produkt, atom vodíku se pouze přesune z jedné reaktivní skupiny na druhou, což vede ke slučování – adici. [15]

Na Obr. 14 je aktuální produkce plastů a prognóza množství plastu vyrobeného v roce 2050. Pokud nebude zabráněno úniku plastových materiálů do oceánů a v následujících letech bude pokračovat současná situace, potom v roce 2050 v oceánech váha ryb bude ekvivalentní hmotnosti plastového odpadu. S rostoucí produkcí plastů souvisí také podíl světové spotřeby ropy na výrobu plastů. [1]



Obr. 14: Aktuální situace a předpokládaný vývoj produkce plastů, poměru váhy plastů a ryb v oceánech, podíl spotřeby ropy na výrobu plastů. [1]

### 4.3 Rozdělení plastů

Podle reakce na zahřívání rozdělujeme plastový materiál do dvou základních kategorií, jedná se o **termoplasty** nebo **reaktoplasty**.

V následující kapitole jsou uvedeny nejvýznamnější typy termoplastů a jejich vlastnosti, jedná se o:

- ### 4.3.1 Polyolefins

$$n \text{ } \begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \backslash & / \\ & \text{C} = \text{C} \\ & / & \backslash \\ \text{H} & & \text{H} \end{array} \longrightarrow \cdots - \begin{array}{ccccccccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ | & | & | & | & | & | & | & | & | \\ \text{--- C ---} & \text{C ---} & \text{C ---} & \text{C ---} & \text{C ---} & \text{C ---} & \text{C ---} & \text{C ---} & \text{C ---} \\ | & | & | & | & | & | & | & | & | \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array} \cdots$$

Ethen                                  Polyethen

## Polyethylen (PE)

Dufka 162185



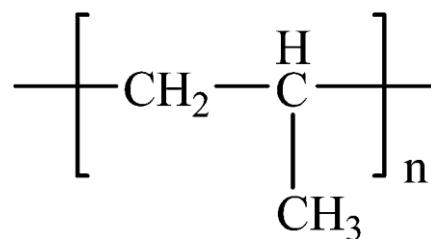
nejhorší ze všech, obvykle používaných termoplastů. Produkty vyrobené z polyethylenu si zachovávají svůj tvar maximálně do 75 °C, je to dáno nízkou teplotou tání. Veškeré typy polyethylenu jsou velice náchylné na působení UV záření a pro venkovní použití je potřeba přísad. [15]

Tab. 1: Vlastnosti základních typů polyethylenu. [15]

Typ polyethylenu	Zkratka	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Teplota tání [°C]	Modul pružnosti [MPa]	Mez pevnosti [MPa]
Vysokohustotní	HDPE (PE-HD)	0,940 ÷ 0,960	130 ÷ 135	700 ÷ 1 400	18 ÷ 35
Nízkohustotní	LDPE (PE-LD)	0,914 ÷ 0,928	105 ÷ 115	200 ÷ 500	8 ÷ 23

### **Polypropylen (PP)**

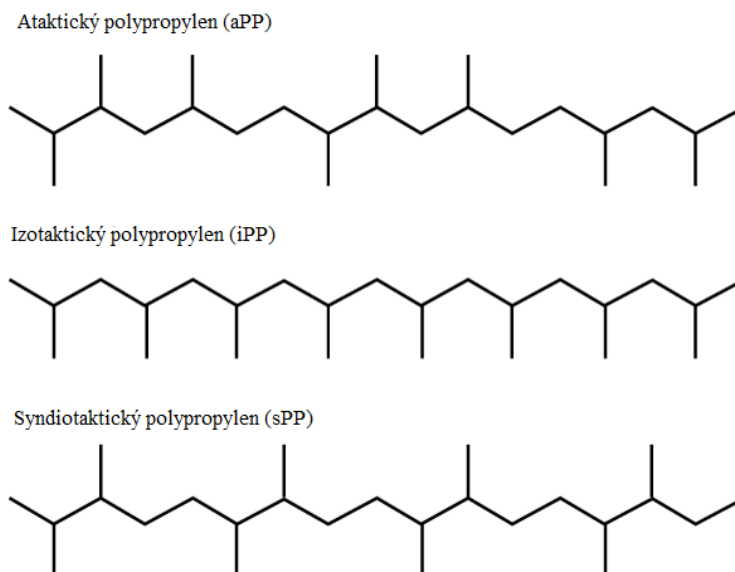
Polypropylen je jedním z nejvíce využívaných termoplastů, na Obr. 16 je základní jednotka polypropylenu, která je složena ze tří atomů uhlíku a šesti atomů vodíku. [20]



Obr. 16: Základní jednotka polypropylenu. [21]

Charakteristickou je pro tento typ plastu methylová skupina CH<sub>3</sub>, dle prostorového uspořádání těchto skupin v uhlíkovém řetězci se rozlišuje ataktický, izotaktický a syndiotaktický polypropylen. Ataktický polypropylen má skupiny CH<sub>3</sub> nepravidelně uspořádané, jedná se o víceméně nežádoucí produkt, jelikož má velice nízkou teplotu tání a nemá tak žádné uplatnění. Se vzrůstající pravidelností uspořádání skupin CH<sub>3</sub> (takticitou) se zvyšuje teplota tavení, pevnost, tvrdost a stupeň krystalinity. Izotaktický polypropylen má methylové skupiny uspořádány pouze na jedné straně řetězce a je hojně využíván a vyráběn. Posledním typem je syndiotaktický polypropylen, který má methylové skupiny uspořádány střídavě. Všechny tři typy uspořádání molekulární struktury jsou na Obr. 17. [20]





Obr. 17: Molekulární struktura polypropyleny. [21]

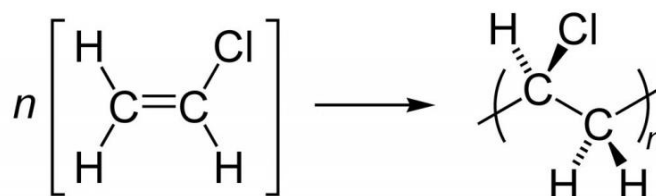
Vlastnostmi je polypropylen velice podobný HDPE, opět je to nepolární plast a od vysokohustotního polyethylenu se odlišuje menší hustotou a není tak odolný vůči teplotám pod bodem mrazu. Lepších výsledků ale dosahuje v pevnosti, tuhosti, tvrdosti a také odolnosti vůči oděru. Hlavní výhodou je vyšší teplota tání, díky které má lepší tvarovou stálost za vyšších teplot. Nejdůležitější vlastnosti jsou shrnuty v Tab. 2. [15]

Tab. 2: Vlastnosti izotaktického polypropyleny. [15]

Polypropylen	Zkratka	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Teplota tání [°C]	Modul pružnosti [MPa]	Mez pevnosti [MPa]
Izotaktický	iPP	0,905 ÷ 0,920	160 ÷ 176	1 100 ÷ 1 500	34 ÷ 38

#### 4.3.2 Vinylové plasty

Ze skupiny vinylových polymerů je nejdůležitějším zástupcem polyvinylchlorid (PVC). Spolu s polyethylenem a polypropylenem patří mezi nejrozšířenější a nejčastěji vyráběné syntetické plasty. Vyrábí se obvykle polymerací monomerů obecného vzorce  $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{R}$ , kdy dosazením za R dostaneme různé typy vinylových polymerů. Na Obr. 18 je příklad jednoho členu řetězce polyvinylchloridu, v tomto případě je za R dosazen chlorid. [12]



Obr. 18: Základní jednotka polyvinylchloridu.[22]

## Polyvinylchlorid (PVC)

Polyvinylchlorid je rozšířen díky relativně nízké výrobní ceně, dobré chemické odolnosti a snadné zpracovatelnosti téměř všemi základními způsoby zpracování plastů. Jde o amorfní termoplast, uspořádání částic chloru je tedy v řetězci nepravidelné. Chemická odolnost je obdobná jako u polyethylenu, za běžných teplot je pevný, tuhý a křehký. Na hořlavost PVC mají vliv atomy chloru obsažené v jeho řetězci, díky nimž je samozhášivý a tato vlastnost je důležitým bezpečnostním prvkem v mnoha aplikacích. Problémem PVC je jeho nestálost vůči teplu a světlu, při působení teplot při zpracování (až 180 °C) je riziko uvolňování chlorovodíku, jelikož se blížíme teplotě rozkladu (přibližně 190 až 200 °C). Proti působení UV záření je nutné přidání stabilizátorů. [15]

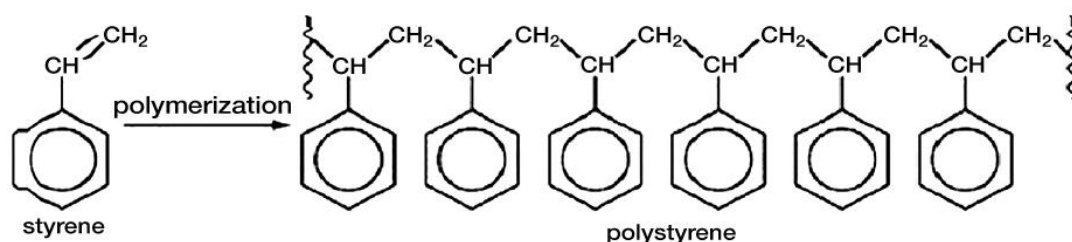
Je dodáván ve formě bílého prášku a v praxi se rozlišují dva typy PVC. Je to neměkčený, tvrdý typ, který je zpracován na tuhé produkty bez přidání změkčovadel, pouze se stabilizátory, mazivy a modifikátory. Druhým typem je měkčený PVC, obsahující změkčovadla, který je využíván k produkci polotuhých až elastických výrobků. V Tab. 3 jsou shrnuty základní vlastnosti těchto dvou typů polyvinylchloridu. [12]

Tab. 3: Porovnání vlastností neměkčeného a měkčeného PVC. [15]

Typ polyvinylchloridu	Zkratka	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Teplota zesklenní [°C]	Modul pružnosti [MPa]	Mez pevnosti [MPa]
Neměkčený	PVC-U	1,38 ÷ 1,55	85	1 000 ÷ 1 350	50 ÷ 75
Měkčený	PVC-P	1,16 ÷ 1,35	50 ÷ 65	-	10 ÷ 25

### 4.3.3 Styrenové plasty

Hlavním zástupcem ze skupiny styrenových plastů je polystyren, další typy polystyrenů jsou jeho kopolymery jako houževnatý polystyren (PS-HI), akrylonitril-butadien-styren (ABS), styren-akrylonitril (SAN), přidáním nadouvadla je možné získat lehčený, expandovaný polystyren (PS-E), atd. Na Obr. 19 je proces polymerace styrenu a vzniklá molekulová struktura polystyrenu. [15]



Obr. 19: Polymerace styrenu. [22]

## Polystyren (PS)

Polystyren patří k dalším často využívaným polymerům, jeho výroba je snadná a lze ji realizovat všemi používanými technikami výroby polymerů. Polystyren je amorfní termoplast, který velice dobře propouští světlo (až 90 %), za normálních podmínek je tvrdý, křehký a má výborné elektroizolační vlastnosti. Při zatížení napětím má tendenci ke tvorbě napěťových

trhlinek. Nedoporučuje se pro venkovní aplikaci kvůli degeneraci vlivem UV záření, jeho působením polystyren žlutne a křehne. Teplotní hranice pro použití polystyrenu je asi 75 °C. Je hořlavý a při hoření vytváří saze. [12]

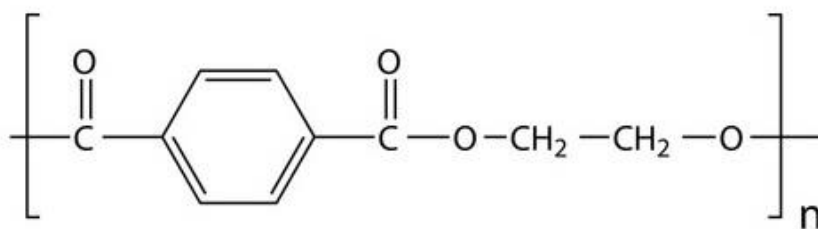
Z jeho kopolymerů je široce využíván expandovaný (pěnový) polystyren. Obsahuje nadouvadla, která umožňují výrobu odlehčených produktů o nízké hustotě materiálu s velice dobrými tepelně-izolačními vlastnostmi. Díky izolačním vlastnostem našel využití ve stavebnictví nebo jako obalový materiál produktů při ochraně proti nárazům. V Tab. 4 jsou shrnuty základní vlastnosti nejčastěji využívaných typů polystyrenů.

Tab. 4: Vlastnosti nejčastěji využívaných polystyrenů. [15]

Typ polystyrenu	Zkratka	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Teplota zesklnění [°C]	Modul pružnosti [MPa]	Mez pevnosti [MPa]
Standardní	PS-GP	1,05	95	3 200	45 ÷ 65
Houževnatý	PS-HI	1,05	95	2 000 ÷ 3 000	40
Styren-akrylonitril	SAN	1,08	105	3 600	75
Akrylonitril-butadien styren	ABS	1,05	105	1 900 ÷ 2 700	30 ÷ 45

#### 4.3.4 Polyestery

Charakteristickým znakem polyesterů je esterová vazba přítomná v hlavním makromolekulárním řetězci. Rozlišují se dva základní typy, polyestery termoplastické s lineárním tvarem makromolekul a polyestery reaktoplastické s rozvětveným tvarem makromolekul. Nejvýznamnějším zástupcem skupiny polyesterů je polyethyltereftalát (dále jen PET). Na Obr. 20 je základní molekula PET, ze kterých je složen polymerní řetězec. [15]



Obr. 20: Základní molekula PET. [23]

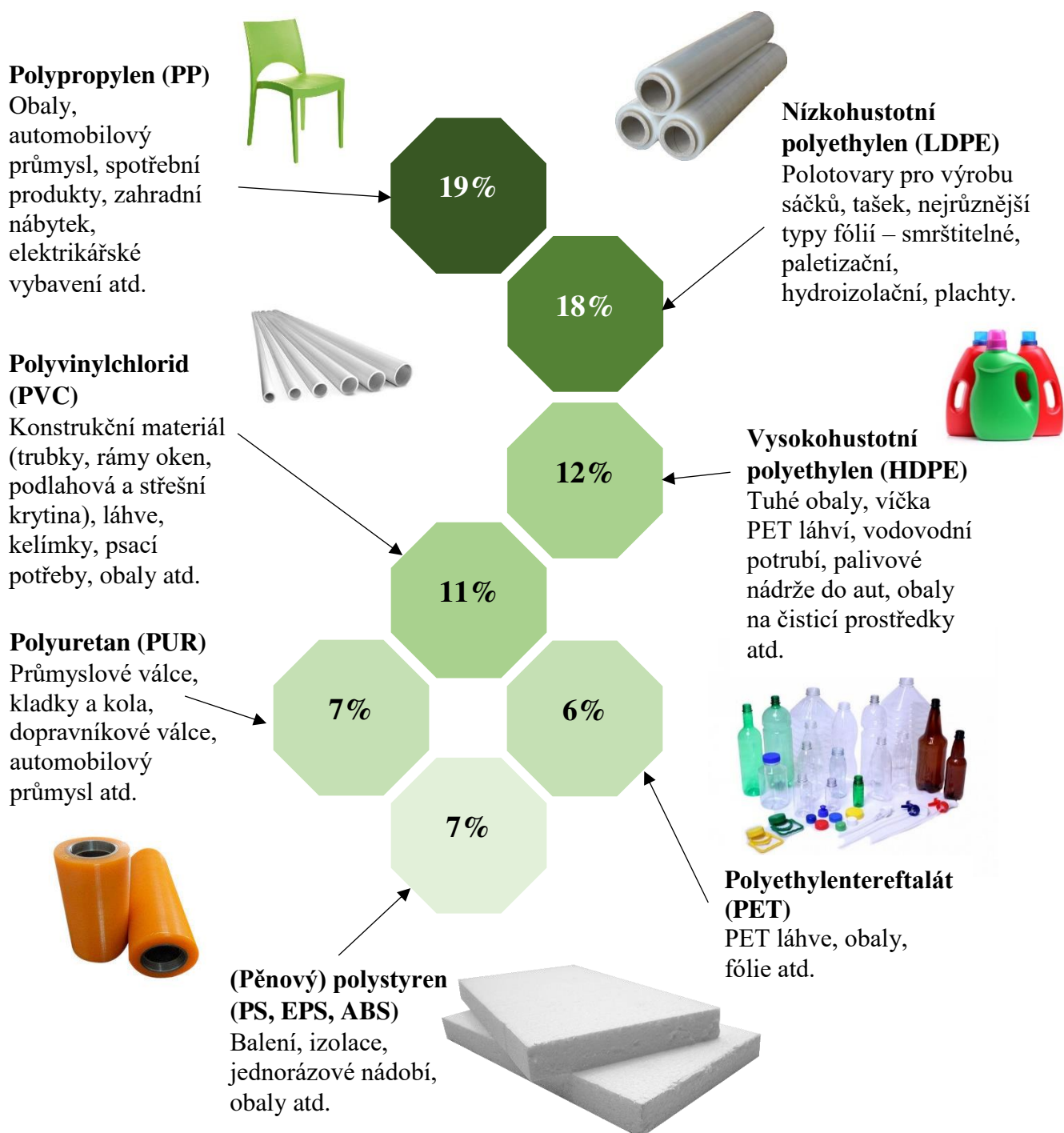
#### **Polyethyltereftalát (PET)**

Polyethyltereftalát je vyráběn v amorfní formě, kdy je potlačena krystalizace rychlým ochlazením, popřípadě může mít i semikrystalickou formu. Jeho mechanické vlastnosti jsou shrnuty v Tab. 5. Za běžných podmínek je křehký a odolný vůči „creepu“. Teplota tání je vzhledem k ostatním plastům vyšší a výrobky z PET snesou trvalé využití do teploty 100 °C, krátkodobě až do 200 °C. V amorfní formě velice dobře propouští světlo. [15] Prvotně byl polyethyltereftalát určen k výrobě fólií a především vláken, které se zpracovávají na textilie, technické tkaniny nebo lana. V dnešní době má většina z nás spojenou zkratku PET s lahvevi na nápoje. [12]

Tab. 5: Základní vlastnosti polyethylentereftalátu. [15]

Polyester	Zkratka	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Teplota tání [°C]	Modul pružnosti [MPa]	Mez pevnosti [MPa]
Polyethylen-tereftalát	PET	1,27 ÷ 1,37	250 ÷ 260	2 000 ÷ 3 100	47

Na Obr. 21 je uvedena globální poptávka po nejvíce využívaných plastech, vyjádření jejich procentuální spotřeby a u jednotlivých typů plastů jsou uvedeny příklady výrobků.



Obr. 21: Procentuální vyjádření globální poptávky nejvíce využívaných plastů a jejich aplikace. [18]

Reaktoplasty (dříve též nazývány termosety) – jsou definovány jako materiál, který vzniká nevratným vytvrzením a to buď při zahřívání, případně zářením nebo chemickou reakcí. Při tomto procesu přecházejí polymery z lineárního viskózního stavu do síťovaného stavu. Zahřátím jsou reaktoplasty zpevněny, ovšem po tomto počátečním tváření už nemohou být znovu přetaveny. Typickou vlastností reaktoplastů je jejich tvrdost a tuhost, ve srovnání s termoplasty mají vyšší teplotní odolnost a nedeformují se ani při vyšších teplotách. Tato vlastnost tyto materiály činí vhodnými pro aplikace s vysokou teplotou, jako například rukojeti kuchyňských potřeb, úchyty pecí atd. Pryskyřice z reaktoplastů při vystavení teplu reaguje chemickou změnou a vytváří nevratné chemické vazby mezi sousedními molekulárními řetězci. Nejpoužívanějším reaktoplastem je polyuretan (PUR), který najde využití u povrchových úprav, v převodovkách, polštářích, matracích nebo autosedačkách. Dalším důležitým zástupcem jsou epoxidové pryskyřice, používané jako lepidla, najdou využití u sportovních zařízení nebo elektrických a automobilových zařízení. Celkově reaktoplasty představují asi 15% celkové poptávky po plastech v Evropské Unii. [16]

V Tab. 6 je srovnání základních vlastností termoplastů a reaktoplastů.

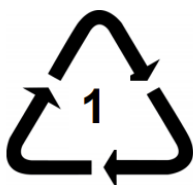
*Tab. 6: Porovnání vlastností termoplastů a reaktoplastů. [16]*

Vlastnost	Termoplasty	Reaktoplasty
<b>Tekutost</b>	Nízká	Vysoká
<b>Základní surovina</b>	Plně polymerizované, dodávané ve formě pelet	Nejsou plně polymerizované, dodávané ve formě pryskyřičné kapaliny nebo v polotuhé formě
<b>Vazba mezi řetězci</b>	Sousední řetězce drží pohromadě fyzické vazby, například vodíkové, nebo Van der Waalsovy síly	Sousední řetězce drží pohromadě chemické vazby nebo tvoří tzv. síťování
<b>Zpracování</b>	Finální tvar je vytvořen v roztaveném stavu, následuje ochlazení, aby byl tvar uchován	Finální tvar je tvořen ve studeném nebo teplém stavu a poté je výrobek zahříván, aby si udržel tvar
<b>Zařízení pro zpracování</b>	Možnost použití standartního zařízení pro zpracování tavenin – vstřikování a vytlačování	Je potřeba upraveného zpracovatelského zařízení, pokud je po vytvoření tvaru vystaven výrobek teplu
<b>Doba zpracování</b>	Krátká, vytvrzení lze urychlit chlazením	Dlouhá, síťování vyžaduje delší dobu pro vytvoření
<b>Recyklace</b>	Tepelná recyklace je možná	Tepelná recyklace není možná
<b>Rozměrová stabilita</b>	Střední	Vysoká
<b>Běžné příklady</b>	Polyolefiny, polyamidy, polyestery, atd.	Vulkanizované kaučuky, epoxidové lepidla, atd.

## 4.4 Recyklační piktogramy

Recyklační piktogramy, resp. symboly slouží k rychlému a jednoduchému rozpoznání z jakého materiálu je výrobek vyroben. Jejich uvedení na obalech není povinné ale spíše informativní a zákazníkům může pomoci, pokud se některým typům plastů chtějí vyhnout. V případě, že se výrobce rozhodne recyklační značku na produkt uvést, je potřeba to učinit dle platné legislativy. Recyklační značka může být na výrobku uvedena v několika variantách: [24]

- Identifikační číselný kód + grafická značka



- Identifikační písmenný kód + grafická značka













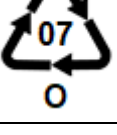



- Identifikační písmenný kód + číselný identifikační kód + grafická značka



Význam všech tří uvedených variant označení je stejný a výběr je pouze na výrobcí. V Tab. 7 je shrnuto označování plastových výrobků, jejich význam a zástupci. [24]

Tab. 7: Recyklační značky plastů a příklady jejich produktů. [1],[25]

		Obecně se jedná o výrobky z polyethylentereftalátu, především PET láhve, obaly od mléčných výrobků, polyesterové tkaniny atd.
		Výrobky z „tvrdého“ polyethylenu, obaly od čistících prostředků, šampónů, sprchových gelů, sáčky do mrazniček, nádoby na zmrzlinu atd.
		Produkty z polyvinylchloridu, obaly kosmetických přípravků, vodovodní trubky, linoleum atd.
		Výrobky z „měkkého“ polyetylenu, patří sem igelitové tašky, fólie, obaly od pochutin atd.
		Obecně populární v potravinářství, ale i v textilním průmyslu, různé tuby (zubní pasta, krémy), misky do mikrovlnné trouby atd.
		Produkty z polystyrenu, tácky pod masné výrobky, nápojové kelímky, plastové nádobí, misky atd.
		Do této kategorie spadají veškeré ostatní plasty, nebo výrobky z kombinovaných obalů, tzv. kompozitní plasty.

## 4.5 Biodegradabilní plasty a bioplasty

Toto označení je obecně používáno k popisu plastů vyráběných z obnovitelných zdrojů nebo plastů, které by měly mít na životní prostředí menší negativní dopady než konvenčně vyráběné plasty z ropy. Zdrojem pro biopolymery, které jsou základem pro plasty vyrobené z obnovitelných zdrojů, jsou nejčastěji rostliny, jako kukuřice, cukrová třtina nebo škrob, existuje ale i možnost výroby pomocí mikroorganismů. V současnosti je s pojmem bioplast čím dál častěji skloňován termín biodegradabilní plast, který, jak už z názvu vypovídá, by se měl za příhodných tepelných, světelných, vlhkostních a oxidačních podmínek bez vnějšího zásahu sám rozložit na vodu a oxid uhličitý. Problémem je, že pokud takto označený plast není výše uvedeným podmínkám vystaven, může proces rozložení trvat i několik let. Tento fakt, že by se měl plast rozpadnout a je tedy vhodný ke kompostování, je zásadní pro označení biodegradabilní, kdy materiál hodnotíme z hlediska konečného naložení s odpadem. Naproti tomu u materiálu označeného jako bioplast hodnotíme, z jakých surovin byl vyroben. Označení bioplast neznamená, že byl vyroben pouze z obnovitelných zdrojů, velké množství bioplastů obsahuje podstatnou část původně z ropných produktů. U pytlů je to asi 50 %, u některých



výrobků to může být dokonce 80 %. V celosvětovém měřítku je prozatím jejich produkce pouze v počátcích, ale jelikož až 70 % celosvětově vytvořeného plastového odpadu končí na skládkách lze předpokládat navýšení produkce bioplastů se zvyšující se budoucí poptávkou. [26], [27]

Produkce bioplastů v roce 2018 a jednotlivé regiony s procentuálně vyjádřeným podílem výroby jsou zobrazeny na Obr. 22. V roce 2018 bylo na celém světě vyprodukováno přibližně 2,11 miliónů tun bioplastů, více než polovina výrobní kapacity pochází z Asie, v Evropě se vyrobí necelá pětina. Z celkového množství vyrobených bioplastů bylo 43 % vyrobeno jako biodegradabilní plasty, tj. plast vhodný ke kompostování. [28]



Obr. 22: Rozložení výroby bioplastů ve světě („Total: 2.11 million tonnes – Celkem: 2,11 milionů tun). [28]

#### 4.5.1 Problematika biodegradabilních plastů

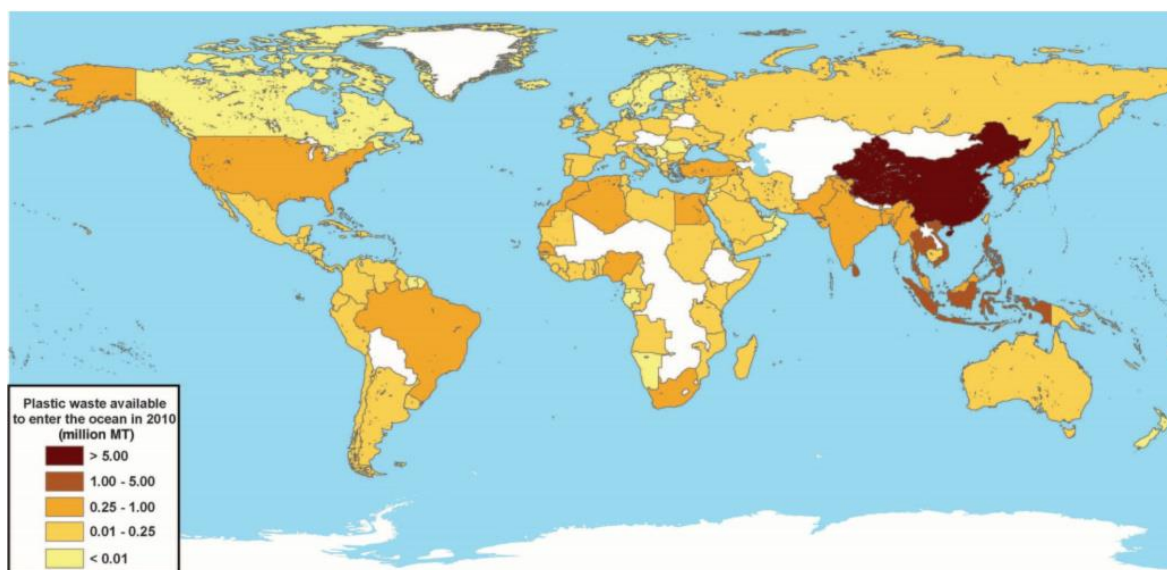
Z hlediska recyklace musí být na biodegradabilní plasty pohlíženo jako na nežádoucí složku toku již vytríděného odpadu, jelikož pokud by se do recyklačního řetězce konvenčních plastů dostávaly ve větším množství, mohly by negativně ovlivnit kvalitu výstupní druhotné suroviny. Na tento problém logicky navazuje další, nalezení jednoduchého, ale účinného způsobu odlišení biodegradabilních plastů od těch konvenčních tak, aby i pro zákazníka nebyl problém s rozpoznáním takového druhu a spotřebitelé tak nekontaminovali vytríděný plast určený k recyklaci. Podle Evropské komise by jedním z řešení mohl být sjednocený design takových výrobků. [26]

Podobný problém by nastal při snaze třídít biodegradabilní plasty jako složku bioodpadu. Zde by naopak hrozila možnost kontaminace bioplasty, které nejsou rozložitelné, a proces kompostování by byl negativně ovlivněn. Možností by mohl být oddělený sběr těchto plastů, ale i ten se momentálně jeví jako neefektivní (zavádění nových odpadových toků, navýšení ekonomické stránky v kontextu nového proudu). Množství biodegradabilních plastů v oběhu není tak velké, aby se z ekonomického hlediska vyplatilo jej samostatně separovat a problémem by byly i nestejnorodé vlastnosti jednotlivých produktů. Aktuálně se jako nejvhodnější možnost jeví ponechat tyto plasty v toku smíšeného komunálního odpadu, což je dostane buď do zařízení na energetické využití, nebo na skládku. [27]



## 5 PLASTY V OCEÁNECH

Únik plastů do světových moří a oceánů je velice zásadní problém, plasty jsou přenášeny pomocí mořských proudů na obrovské vzdálenosti a mohou tak znečišťovat i odlehlé pobřežní oblasti. Postupem času se plasty v mořské vodě rozpadají na menší částice a vytváří tak obrovské množství mikroplastů, drobné úlomky menší než 5 mm. Takto malé částice se poté snadno dostanou do potravního řetězce nejen mořských živočichů, obývajících tyto vody. [1] Malá velikost těchto částic je činí velice obtížnými ke sběru a shromáždění a jejich recyklace je tak velmi problematická i z pohledu určité degradace. Nejlepším řešením je zamezení úniku plastového odpadu do volného oceánu. Na celém světě se do moří a oceánů ročně dostane 5 až 13 milionů tun plastů. Určit množství plastů unikajících do oceánů je obtížné, hodnoty se modelově vypočítávají dle údajů o vyprodukovaném odpadu, hustotě zalidnění a ekonomické situaci v konkrétních zemích. Nejvíce je toto číslo ovlivněno počtem obyvatelstva, kvalitou fungování systému nakládání s odpady a také mírou exportu a importu plastového odpadu. Na Obr. 23 je odhadované množství plastového odpadu unikajícího do moří a oceánů dle jednotlivých zemí, které mají přístup k pobřeží. [29] Je názorně vidět, že největší podíl na znečištění má Čína a státy v jihovýchodní Asii. Lze to přisuzovat nedostatečně vyvinutému systému odpadového hospodářství a následné recyklace. Současně je nutné zmínit, že v těchto zemích je nedostatečná osvěta z hlediska nakládání s odpady. V případě Číny je potřeba brát v potaz, že v době tvorby této závěrečné práce do země směřovala až polovina z celosvětového importu s plastovým odpadem. Toto se změnilo 1. ledna 2018, kdy začal platit, čínskou vládou schválený, zákaz na dovoz několika druhů plastů. Zákaz se týká především méně kvalitních a špatně vytríděných plastů.

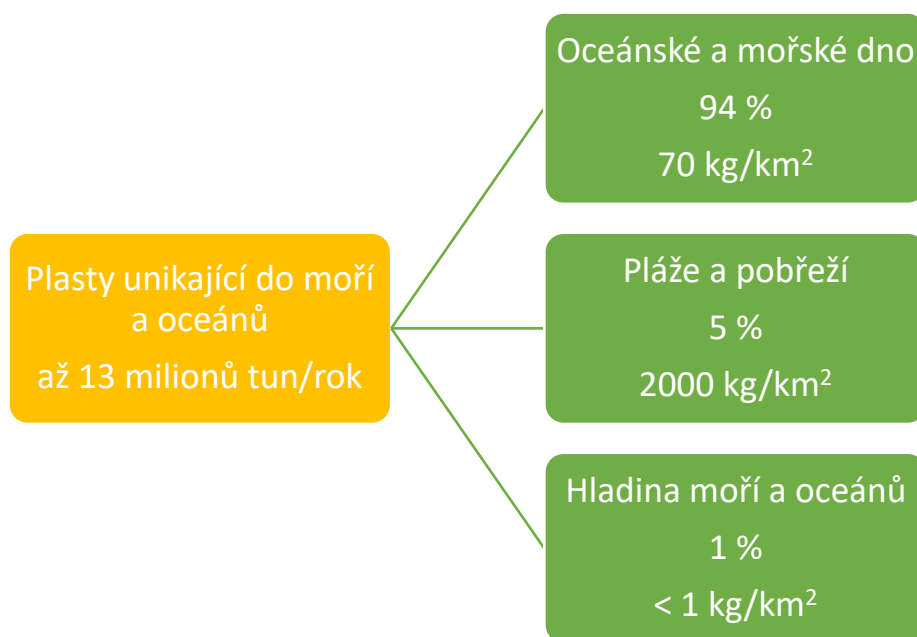


Obr. 23: Globální mapa s odhadovaným množstvím plastového odpadu unikajícího do oceánů v roce 2010 v oblasti ve vzdálenosti do 50 km od pobřeží („Plastic waste available to enter the ocean in 2010“ – Plastový odpad unikající do oceánu v roce 2010).[29]

Do oceánů se plastový odpad dostává především povrchovým odtokem, kdy po větších deštích spláchne voda nahromaděný odpad do koryt toků a odtud je poté říčním systémem dopraven až do moří a oceánů. Mezi další zdroje patří úniky z kanalizačních systémů, odpady vypouštěné ze skládek v blízkosti pobřeží nebo řek, průmyslová činnost, nesprávná přeprava,

spotřební kosmetika na jedno použití a další. Ke znečišťování přispívají i zdroje využívající samotných oceánů, jako lodní doprava nebo rybolov. [30]

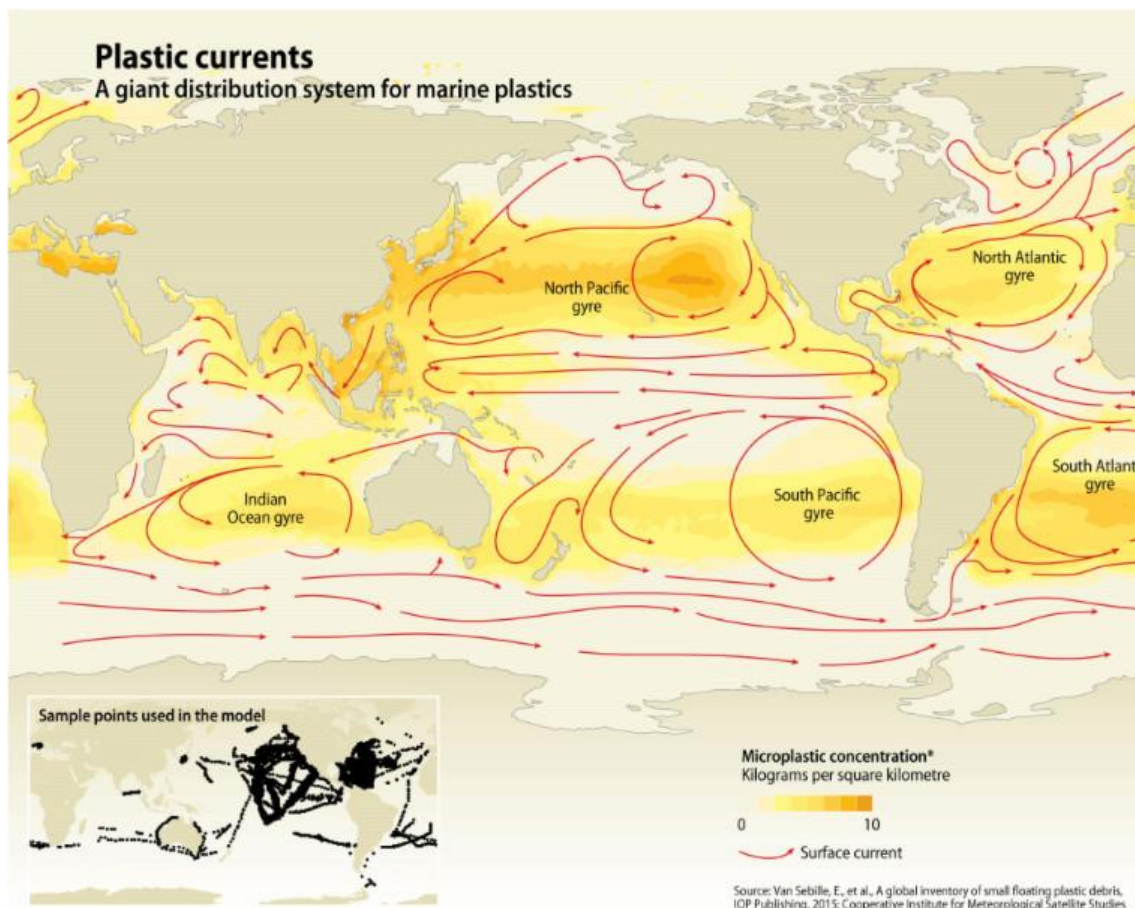
Z celkového množství plastového odpadu vstupujícího do oceánu skončí postupem času až 94 % na dně. Odhaduje se, že na dně moří a oceánů leží v průměru 70 kg plastů na km<sup>2</sup>. Poslední roky se objevily projekty na sběr fragmentů plastů z hladiny oceánů, ovšem je třeba si uvědomit, že u hladiny nebo v hloubce do několika metrů se udrží pouze asi 1 % z celkového množství. Zbývajících 5 % tvoří odpad na plážích, což je po přepočtu na koncentraci asi 2000 kg plastů na km<sup>2</sup>. Na pláži se odpad může dostávat přímo z pevniny ale podstatná část je na pláži vyvrhována oceánem. Tyto údaje jsou shrnuty a graficky vyjádřeny na Obr. 24. [31] Fragmenty plastů, které se drží blízko hladiny, jsou pomocí větru a mořských proudů schopny urazit velké vzdálenosti. V oceánech vznikají oblasti s vyšší koncentrací nahromaděného odpadu. Důvodem jejich vzniku je cirkulace mořských proudů, které unášejí plovoucí odpad do středu těchto obrovských vírů, v anglické literatuře označovaných jako „gyre“. O jejich existenci lze najít první zmínky již v roce 1997 a to v oblasti mezi Kalifornií a Havajskými ostrovy. V této oblasti v severní části Tichého oceánu se nachází největší oblast s výskytem nahromaděného odpadu. Tato oblast je nejčastěji cílem výzkumů a lze ji tak pokládat za nejvíce prozkoumanou. Samotné měření velikosti těchto oblastí je ztěžováno neustálým pohybem a nestálostí. Nejedná se o oblast se souvislou vrstvou odpadků u hladiny, ale o místa s vyšší koncentrací především menších částí a to nejen u hladiny, ale ve vodním sloupci do hloubky asi 10 metrů. [32]



Obr. 24: Kde končí plasty vstupující do moří a oceánů. [31]

Cirkulace vody v oceánech je způsobena principy gravitace, tření, rozdílnou hustotou, různou teplotou, rozdíly v atmosférickém tlaku a také topografií planety. Atmosféra má přímý vliv na vznik proudů vlivem třecího mechanismu mezi větry a hladinou oceánů. Směr otáčení proudů vody souvisí s rotací Země kolem své osy, která má za následek vznik tzv. Coriolisovy síly. Tato síla svým působením odchyluje směr proudů vůči směru větru asi o 45 stupňů doprava na severní polokouli a na jižní polokouli doleva. Díky této síle pak na severní polokouli cirkuluje voda po směru hodinových ručiček a na jižní polokouli proti směru. [33] Na Obr. 25

je znázorněn zjednodušený systém cirkulace vody a je vyznačeno pět hlavních „vírů“ ve světových oceánech. Zároveň je zobrazena modelově vyhodnocená koncentrace mikroplastů v oceánech. Dle očekávání je největší koncentrace mikroplastů v centrech cirkulujících oceánských proudů, také lze na mapě vyčíst zvýšenou koncentraci v pobřežních mořích u států východní a jihovýchodní Asie. Globální průměrná koncentrace mikroplastů plovoucích v blízkosti hladiny je menší než 1 kg na km<sup>2</sup>. Nejvyšší koncentrace byla naměřena v severním „víru“ Tichého oceánu, konkrétně 18 kg na km<sup>2</sup>. [34]



Obr. 25: Největší oceánské „víry“ a koncentrace mikroplastů ve světových oceánech a mořích („Plastic currents, a giant distribution system for marine plastics“ – Plastové proudy, obrovský distribuční systém plastů; „Microplastic concentration“ – Koncentrace mikroplastů; „Surface current“ – Směr proudů; „Sample points used in the model“ – Vzorkové body použité v modelu). [34]

Celkově do moří a oceánů obklopujících EU ročně unikne 150 000 až 500 000 tun plastového materiálu. Toto číslo není z hlediska celosvětového významu nikterak velké, ale například oblast Středozemního moře je velmi zranitelná. Jelikož zde nedochází k tak velké cirkulaci vody s Atlantským oceánem, odpady vstupující do Středozemního moře se zde hromadí. Na Obr. 25 je vidět že v této oblasti dosahuje znečištění mikroplasty vysokých hodnot. Ve středozemním moři se plast hromadí v podobném množství, jako je tomu v centrech cirkulací oceánských proudů.

## 6 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ PLASTOVÉHO ODPADU SE ZAMĚŘENÍM NA KOMPLEXNÍ ŘETĚZEC

Plastové materiály je možné recyklovat několika způsoby, volba způsobu a typu recyklace závisí na druhu polymeru, designu balení a také typu výrobku. Výrobky, které jsou tvořeny pouze jedním druhem polymeru je určitě jednodušší, a především ekonomičtější recyklovat, než produkty tvořeny vícevrstevným nebo vícesložkovým materiálem. Jednotlivé druhy plastů nejsou vzájemně mísitelné na molekulární úrovni a při jejich zpracování musí být kladen důraz na jejich separování. Již malé množství jiného druhu plastu může významně negativně ovlivnit vlastnosti výsledného produktu. Pokud je například proud recyklátu PET láhvi kontaminován i malým množstvím PVC je kvalita finálního recyklátu degradována v důsledku vzniku plynného chlorovodíku, který se z PVC uvolňuje působením vyšší teploty, která je potřeba k roztavení PET materiálu. [35]

Při výrobě nových produktů z recyklovaného materiálu není vždy možné dosáhnout kvalitativních vlastností panenského materiálu. Kromě barvy nebo průhlednosti mohou být negativně ovlivněny i mechanické vlastnosti nově vyrobeného výrobku. Často je tedy regenerovaný plastový recyklát míchan v potřebném poměru s nově vyrobenými polymery (tzv. virgin materiál), aby bylo dosaženo potřebné kvality výsledného produktu. Produktem jsou často výrobky, u kterých již není třeba původní kvality, příkladem jsou pytle na odpadky, zavlažovací a odvodňovací potrubí nebo použití ve vícevrstevných aplikacích, kde je recyklovaný materiál vložen mezi vrstvami kvalitního primárně vyrobeného plastu. [35]

Technologii recyklaci plastů lze rozdělit do několika skupin, konkrétně primární a sekundární recyklace, které jsou označovány jako mechanická recyklace. Dalším stupněm je terciární neboli chemická recyklace a poslední možností je kvartární recyklace, která spočívá v energetickém využití. V Tab. 8 je shrnuto označení typů recyklace dle americké normy ASTM D5033 a evropské normy ISO 15270. [35]

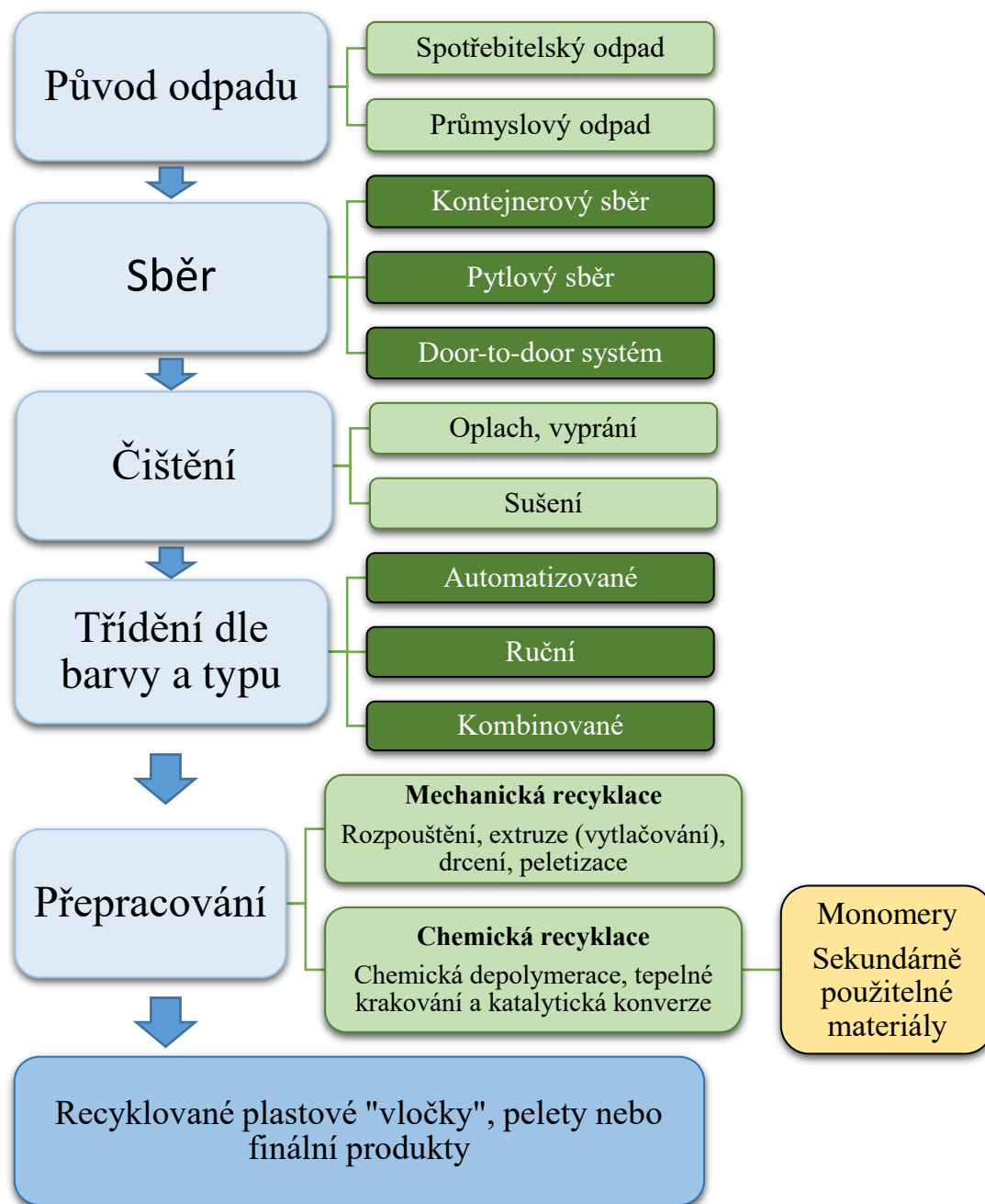
Tab. 8: Označení jednotlivých typů recyklace dle různých norem. [35]

Norma ASTM D5033	Norma ISO 15270	Ekvivalentní označení
Primární recyklace	Mechanická recyklace	Uzavřená recyklační smyčka
Sekundární recyklace	Mechanická recyklace	Degradování
Terciární recyklace	Chemická recyklace	Surovinová recyklace
Kvartární recyklace	Energetické využití	Zhodnocení

- **Primární recyklace** zahrnuje využití plastového odpadu a šrotu na vytvoření výrobku se stejnými nebo podobnými vlastnostmi jako původní produkt.
- **Sekundární recyklace** zahrnuje využití plastového odpadu a šrotu na vytvoření materiálu, který má odlišné vlastnosti než původní produkt. Chemická struktura materiálu by však měla zůstat nezměněna.
- **Terciární recyklace** vyžaduje změnu chemické struktury materiálu, výsledné látky mohou být využity k produkci původního materiálu, jelikož má totožné složení.
- **Kvartární recyklace** získává energii z plastového odpadu při spalování s ostatním odpadem například v ZEVO.



**Mechanická recyklace:** má vysoký potenciál především u termoplastů, především u PET, PE a PP. Primární mechanická recyklace je nejčastěji využita přímo u výrobců produktů z termoplastů. Jde o odpad přímo z výroby, který se ještě nedostal ke spotřebitelům, známe jeho chemické složení, není kontaminovaný cizí příměsí a je zcela homogenní. Ovšem i u spotřebních výrobků lze primární recyklaci docílit. Příkladem jsou snadno a dobře identifikovatelné produkty, příkladem mohou být PET láhve (např. zohlednění barevnosti), které se roztřídí, nadrtí a promyjí v horké lázni. Tímto způsobem získané PET vločky se pak použijí opět k výrobě nových láhví za pomoci regranulátu. Celkový komplexní řetězec zpracování plastového odpadu od jeho vzniku až po vznik sekundárně využitelných „vloček“ nebo regranulátu je na Obr. 26.



Obr. 26: Komplexní řetězec toku plastového odpadu a jeho přepřacování na druhotně využitelný materiál. [18]

Při sekundární recyklaci se sbíraný spotřební plastový odpad zpracovává mechanickými procesy, díky kterým je možné zcela nebo částečně nahradit panenské polymery při výrobě nových produktů. Zpracování tohoto odpadu je rozděleno do několika fází: [36]

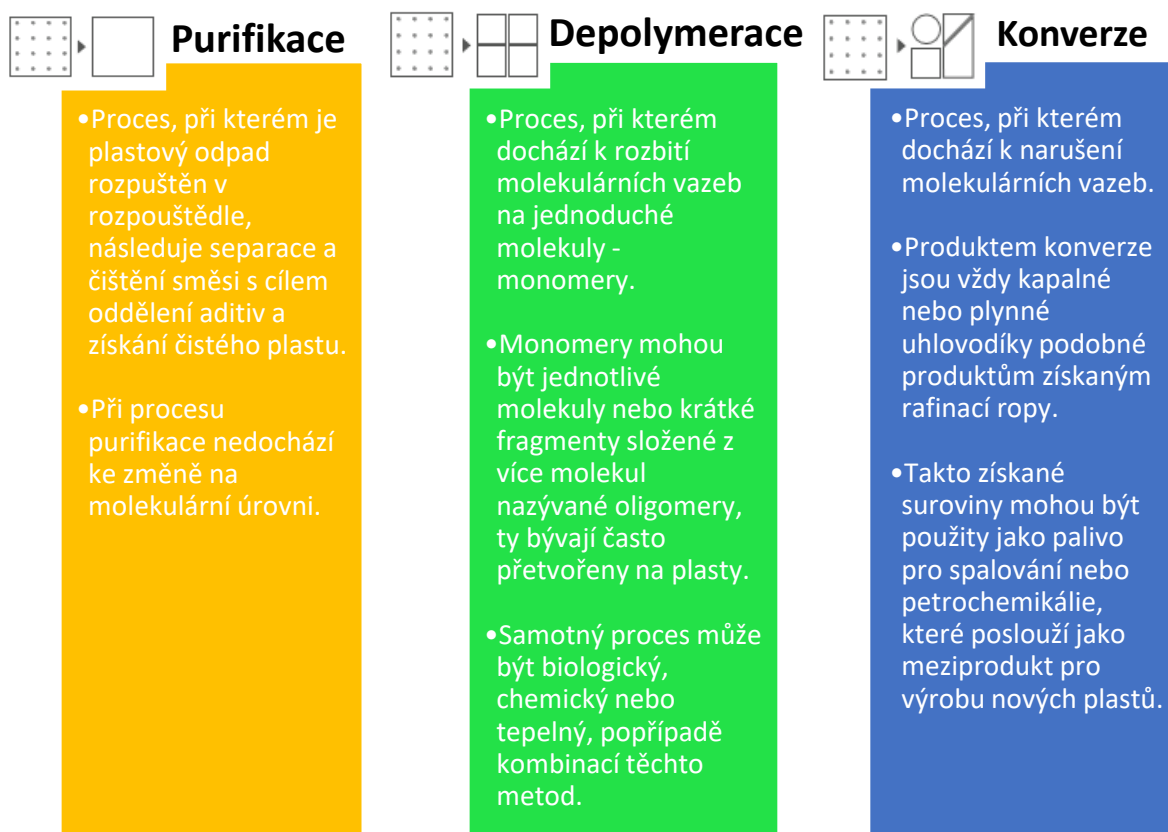
- **Sběr** – plastový odpad je svážen ze sběrných míst, kde je shromažďován v kontejnerech nebo pytlech umístěných na veřejných místech. Odtud je odpad specializovanými vozy převážen do recyklačních center.
- **Čištění** – plastový odpad je vyprán a vysušen, takto upravený odpad má na trhu s plastovým odpadem větší cenu a čištění má pozitivní dopad na finální kvalitu recyklátu. Samotné čištění může být provedeno v různých fázích recyklačního procesu, před, po nebo i v průběhu třídění odpadu.
- **Třídění** – zahrnuje odseparování všech nežádoucích složek a také samotné rozdělení plastů dle jejich druhu.
- **Zmenšení velikosti** – cílem je zmenšení objemu, usnadnění manipulace a získání nadrceného materiálu stejné kompozice, který může být dále prodán zpracovatelským zařízením.

Tento proces má určitým způsobem negativní dopad na vlastnost a kvalitu recyklovaného materiálu, polymery degradují, plastový odpad je heterogenní a obsahuje sloučeniny s nízkou molekulární hmotností. V důsledku toho jsou při procesu tavení do recyklovaného materiálu přidávány panenské polymery, plniva, vlákna, činidla, stabilizátory, reaktivní polymery a další přísady. Cílem je zlepšení vlastností a nalezení většího uplatnění při výrobě nových produktů. [37]

**Chemická recyklace:** proces chemické recyklace je založen na principu chemické přeměny polymerního řetězce na základní molekuly monomerů nebo jiných uhlovodíkových produktů. Ty jsou následně použity jako surovina pro výrobu paliv, jiných chemikálií nebo tvorbu nových polymerů. [37]

Příkladem technologií využívaných u chemické recyklace je depolymerace (glykolýza, hydrolýza), další možností zpracování je zahřátí směsi plastu do vysokých teplot, kdy dojde ke štěpení hlavního řetězce polymeru. Tohoto je využito u technologie zpracování jako pyrolýza, hydrokrakování nebo zplyňování. [37]

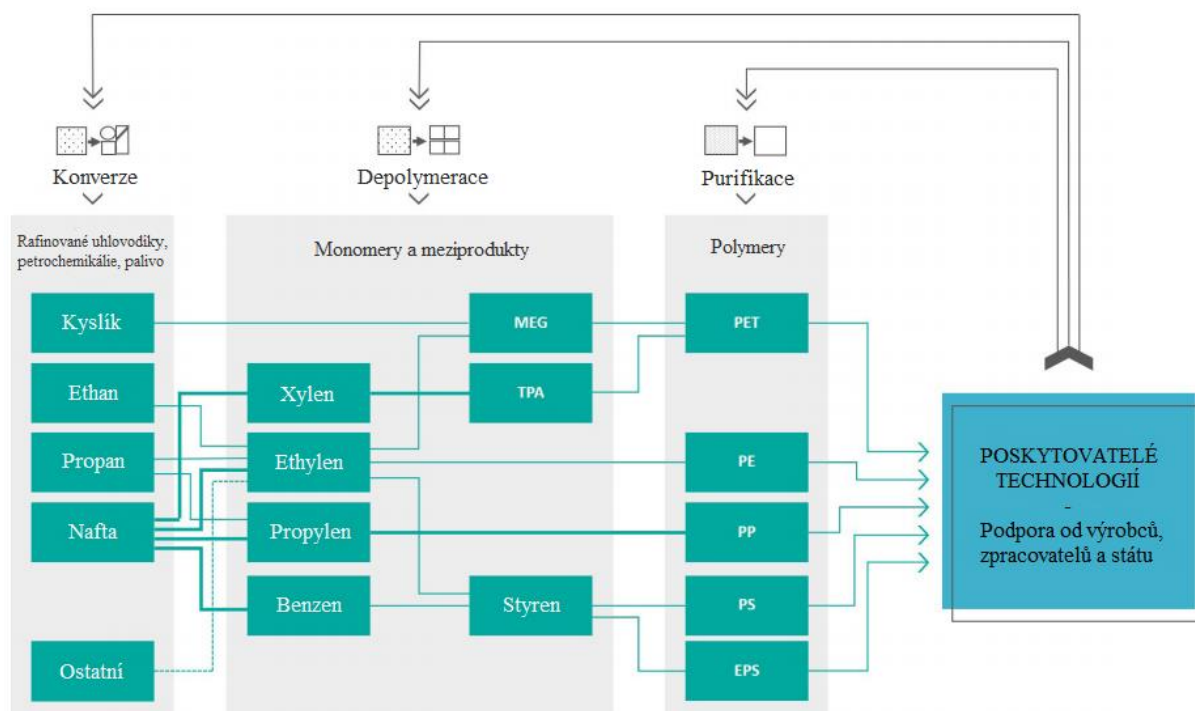
Chemická recyklace má určitě potenciál stát se dobrou alternativou k mechanické úpravě plastů, která má své limity v použití u dnešních komplexních a vysoce variabilních plastových materiálů. U některých typů, jako je například HDPE nebo PET funguje velice dobře a dosažené výsledky jsou uspokojivé, problémem je samozřejmě potřeba dokonalého oddělení jednotlivých druhů plastu při procesu recyklace, což je v některých případech vícevrstevných plastových materiálů velmi komplikované, až nemožné. Další komplikací je kontaminace a degradace plastů při jejich opakované mechanické recyklaci. Na Obr. 27 jsou shrnuty základní metody chemické recyklace s popisem fungování jednotlivých způsobů zpracování. [38]



Obr. 27: Shrnutí metod chemické recyklace plastů. [38]

Rozšíření těchto metod není doposud příliš časté, především z důvodu ekonomické náročnosti technologií, ovšem jejich zavedení by umožnilo recyklaci plastového odpadu do kvality odpovídající panenskému plastu. Technologie chemické recyklace má uplatnění u materiálů, kde není možné využít mechanickou recyklaci, jako třeba u termosetů. Příkladem je nenasycený polyester nebo epoxidová pryskyřice. Důvodem je tvorba síťované struktury při jejich výrobě a nelze je tedy přetavit a přeformovat. Výjimku tvoří jejich znovupoužití jako výplňový materiál, kdy jsou produkty z termosetů rozdrceny na velice jemné částice nebo prach. [35]

Na Obr. 28 je řetězec vzniku polymerů plastů, s uvedeným zdrojem v podobě chemikálií, přes vznik monomerů a meziproduktů až k produktu ve formě jednotlivých druhů nejpoužívanějších plastů. Dle volby technologie zpracování mají zpracovatelé možnost si vybrat, ve kterém místě se do řetězce odpad navrátí. Pokud by tyto technologie dospěly do stádia masivního využití, snížila by se tak i závislost na fosilních palivech a změnil by se tak celý dodavatelský řetězec. Technologie s využitím konverze umožňují teoreticky nekonečné vytváření nových produktů, obecně jsou ale náročnější na spotřebu energie. Technologie depolymerace a purifikace nevyžadují v porovnání s konverzí takové množství energie, ale mají některá omezení v použití. [38]



Obr. 28: Řetězec vzniku polymerních materiálů a technologie zpracování plastového odpadu chemické recyklace. [38]

## 6.1 Původ plastového odpadu

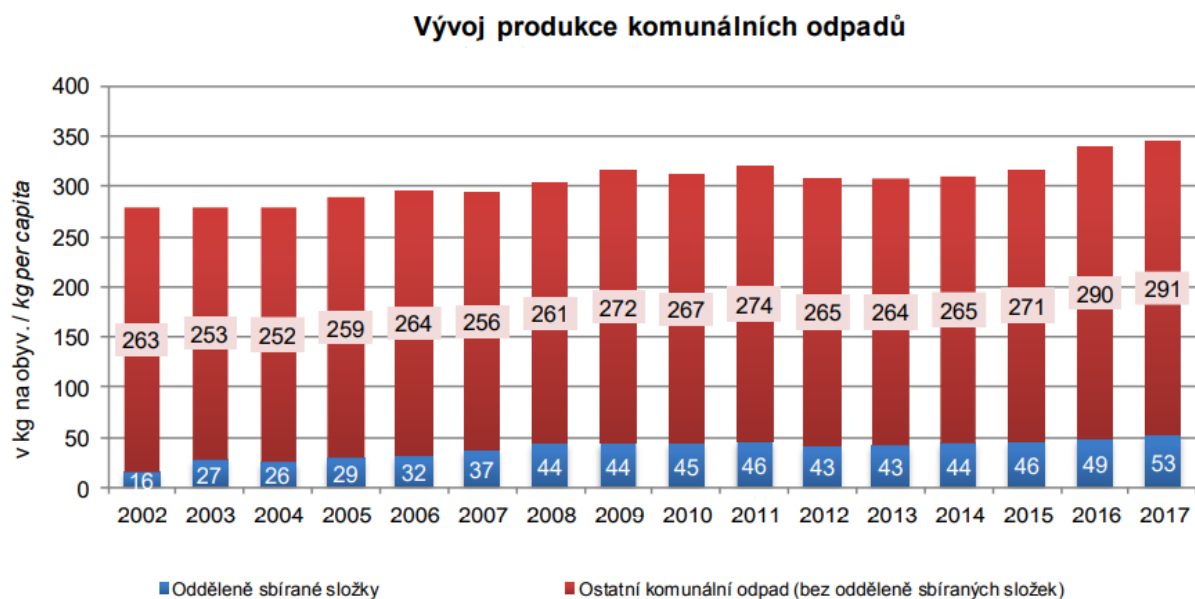
Plastový odpad vzniká již během výrobního procesu výrobků, jedná se o nejrůznější odpadní produkty výroby, odřezky, úlomky atd. Recyklace tohoto odpadu je ovšem snadnější, známe složení jeho polymeru, je čistý a není kontaminován cizím materiálem. Tento odpad lze tedy recyklovat téměř ihned po jeho vzniku, má vysokou hodnotu a cyklus se rychle uzavírá. [39]

Dalším původcem jsou veškeré plastové výrobky, které již nenajdou využití u spotřebitelů a stávají se tak odpadem. V závislosti na zemi, se pak takový odpad buď odděleně, nebo smíchaný s dalšími recyklovatelnými odpady shromažďuje. Takto sbíraný odpad je většinou kontaminovaný organickými zbytky, nepolymerními frakcemi nebo nerecyklovatelnými typy polymerních materiálů. [39]

### 6.1.1 Podíl plastového odpadu v KO

I když je v ČR zavedený dobře fungující systém sběru recyklovatelných složek, určité množství znovu využitelných materiálů se dostane do KO. Na množství těchto materiálů má vliv řada faktorů, ať jde o typ zástavby, věkovou strukturu obyvatelstva nebo životní styl. V ČR je dle statistik ČSÚ vyprodukováno ročně asi 300 kg odpadu na obyvatele, konkrétně za rok 2017 to bylo 291 kg/obyvatel. Největším problémem je momentálně míra skládkování, v roce 2017 na skládkách skončilo 49 % KO a dle Obr. 30 je patrné, že na skládce tak končí i velké množství druhotně využitelných materiálů. [41]

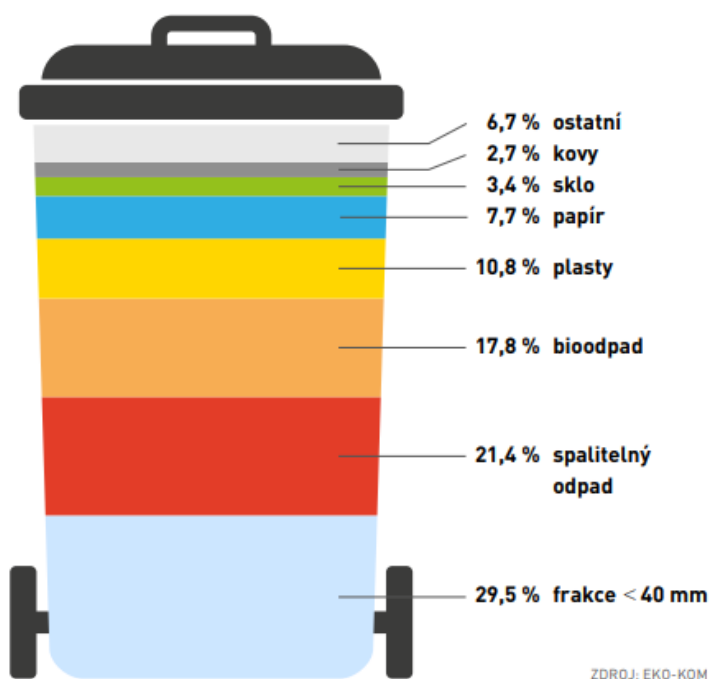




Obr. 29: Vývoj produkce KO a odděleně sbíraných složek. [41]

Z grafu na Obr. 29 je zřejmé, že produkce KO zvolna v posledních letech stoupá, pozitivním trendem je zvyšování množství odděleně sbíraných složek odpadu. Složení směsného komunálního odpadu (dále jen „SKO“) je zobrazeno na Obr. 30, pokud by se podařilo dosáhnout odseparování veškerých materiálů, které mohou potenciálně tvořit druhotnou surovinu nebo je lze jinak využít, množství odpadu by se zmenšilo o více než polovinu. [40]

**SKLADBA DOMOVNÍHO ODPADU SKO  
V ČESKÉ REPUBLICE V ROCE 2016  
(vážený roční průměr, hodnoty jsou uvedeny v % hm.)**



Obr. 30: Skladba domovního odpadu České republiky v roce 2016. [40]

## 6.2 Sběr oddělitelných složek

V ČR je dostupná veřejná sběrná síť odběrových míst využitelných odpadů provozovaná neziskovou společností EKO-KOM. Více o fungování systému této společnosti je v kapitole 3.1. Umožňuje občanům odložit recyklovatelné odpady po neomezenou časovou dobu. Využitelné složky se oddělují dle materiálových vlastností, nejčastěji se rozlišují nádoby na plast, papír, sklo, nápojové kartony a kovy. Tři nejvyužívanější způsoby sběru odpadu jsou donáškový, pytlový a nádobový sběr. [42]

- **Donáškový sběr:** původci odpadu donášejí a odkládají separované recyklovatelné složky komunálního odpadu do sběrných nádob a kontejnerů, které jsou na veřejně dobře dostupných místech. Tyto kontejnery mají velké objemy a pravidelně jsou dle jejich zaplnění vyváženy. Na Obr. 31 je ukázka typického kontejnerového hnízda. [42]



*Obr. 31: Kontejnerové „hnízdo“ pro donáškový sběr využitelných odpadů. [43]*

- **Pytlový sběr:** je vhodný zejména v zástavbě rodinných domů, kde se pro obyvatele zvyšuje docházková vzdálenost k velkoobjemovým kontejnerům. V oblasti, kde je praktikován tento typ sběru, jsou domácnostem poskytnuty plastové, papírové nebo jutové pytle o objemech od 40 do 120 litrů. V pravidelných intervalech pak svozová firma zajistí odvoz těchto pytlů k dotřídění. Na Obr. 32 je ukázka, jak probíhá pytlový sběr v praxi ve městě Turnov. [44]



*Obr. 32: Ukázka pytlového sběru ve městě Turnov. [45]*

- **Nádobový sběr:** velmi podobná koncepcí jako u pytlového sběru, místo pytlů se ale využitelný odpad shromažďuje do sběrných nádob a kontejnerů menších objemů (obvykle 120 l, 240 l). Tyto nádoby jsou umístěny na soukromých pozemcích individuálně u jednotlivých původců odpadu a nejsou veřejně dostupné. Výhodou je umístění v těsné blízkosti nemovitostí, ovšem pořizovací náklady jsou vyšší. [42]

Další místa určená k odběru využitelných složek mohou být sběrné dvory, mobilní sběry, výkupny a další. [42]

### 6.3 Zpracování využitelných složek na dotříd'ovací lince

Dalším krokem ve zpracování využitelných složek je třídící linka, kde dochází k dotřídění jednotlivých typů separovaně sbíraného odpadu. Dochází také k odstranění nežádoucích složek, nečistot a jiných příměsí ze vstupního proudu odpadu. Jednotlivé typy separovaných odpadů se tedy dále třídí dle druhu (frakce), případně i dle barev s cílem zvýšení jejich prodejní ceny a uplatnění v dalších krocích komplexního řetězce. Schéma dotříd'ovací linky je na Obr. 33. [46]



Obr. 33: Schematicky zobrazená dotříd'ovací linka. [47]

- **Příjem materiálu a začátek linky:** Svozové auto se při příjezdu do areálu dotříd'ovacího zařízení zváží a vizuálně se zkontroluje jeho kvalita. Poté se materiál ze svozového vozu přepraví k uskladnění a připraví k dalšímu zpracování. Sklad příchozího materiálu se kvůli jednoduché a rychlé manipulaci umísťuje ve stejné budově, kde se nachází samotná technologie dotříd'ovací linky. Materiál je poté nahrnut nebo pomocí nakladače vložen do násypky, odkud je soustavou dopravníků posouván k další částí linky. Nejčastěji se používají pásové dopravníky pro vodorovný posun materiálu a řetězopásové dopravníky pro pohyb materiálu se sklonem. Příklad řetězopásového dopravníku je na Obr. 34. [46]





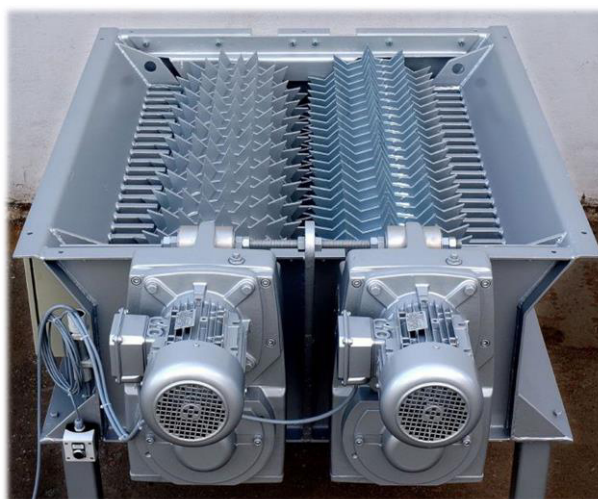
*Obr. 34: Dotříd'ovací linka v reálném provedení. [48]*

- **Předtřídění:** prvotní třídění je obvykle prováděno vyškolenými pracovníky manuálně a cílem je odstranění nevyhovujících nebo velkoobjemových materiálů. V dalším kroku je hrubě předtříděný tok materiálu dopraven do zařízení, které má za cíl zjednodušit následné hlavní třídění. Jde o nejrůznější síta, roztríd'ovací bubny nebo separátory. Materiál se třídí hlavně dle různorodých fyzikálních a materiálových vlastností. Ve schématu na Obr. 33 je rozdružovací bubna, který rotací plastový materiál rozvolní a ulehčí následné hlavní třídění operátorům. Menší částechy, hlavně kousky kovů, skla, keramiky a nečistot, se oddělí a propadají otvory v bubnu jako podsítná frakce (výmět, nečistoty). Tato podsítná frakce je sbírána jako odpadní tok z linky nebo může být dopravována k dalšímu zpracování. Výstupem z bubnu je plastový odpad, který je následně vynášecím pásem dopravován na další část linky. [49]
- **Hlavní třídění:** jedná se o klíčovou část dotříd'ovací linky, většinou je realizována manuálně, kdy se o třídění stará skupina vyškolených pracovníků. Hrubě předtříděný materiál je po dopravníku kontinuálně dopravován do třídící kabiny, většinou kabina stojí na vyvýšené kovové plošině, je vybavena osvětlením, klimatizační a topnou jednotkou pro zajištění komfortu pracovníků. Kabinou v celé její délce prochází dopravník s regulovatelnou rychlostí a po obou jeho stranách stojí pracovníci, kteří vybírají jednotlivé druhy plastového odpadu a odhazují jej do zásobníků umístěných pod kabinou. Na Obr. 35 je ukázka pracovníků v třídící kabině. Počet separovaných druhů plastu může být variabilní a přizpůsobuje se i aktuální poptávce po jednotlivých druzích plastu. Dochází k vytrídění především fóliových materiálů, plastových výrobků velkých rozměrů, PET lahví dle barvy, a další. Jeden ze zásobníků na separované materiály je určen pro magnetické kovy, které jsou z proudu materiálu tříděny magnetickým separátorem, umístěným na konci dopravníku. Veškerý zbytek materiálu (výmět), který projde hlavním tříděním je dopraven až na konec dotříd'ovací linky, odkud je dopraven do mezikladu nebo může být odvážen k dalšímu zpracování popřípadě k odstranění do zařízení EVO nebo na skládku. [49]



*Obr. 35: Pracovníci, kteří třídí proud plastového odpadu na jednotlivé frakce. [50]*

- **Finální úprava využitelných frakcí:** jednotlivé zásobníky pod třídící kabinou jsou vzájemně odděleny od ostatních frakcí a po jejich naplnění jsou dalším dopravníkem nebo nakladačem dopraveny do násypky lisu. Důvodem lisování je především zmenšení objemu vytríděného materiálu s cílem minimalizovat dopravní náklady a celkovou logistickou činnost. Na linkách, které separují PET láhve je často do technologie přidán perforátor PET lahví. Ukázka perforátoru je na Obr. 36, láhve jsou propichovány a jejich lisování je poté snadnější a balíky jsou kompaktnější. Po slisování je materiál uskladněn a je připraven k exportu do zařízení zpracující takto vytríděný plast. [49]



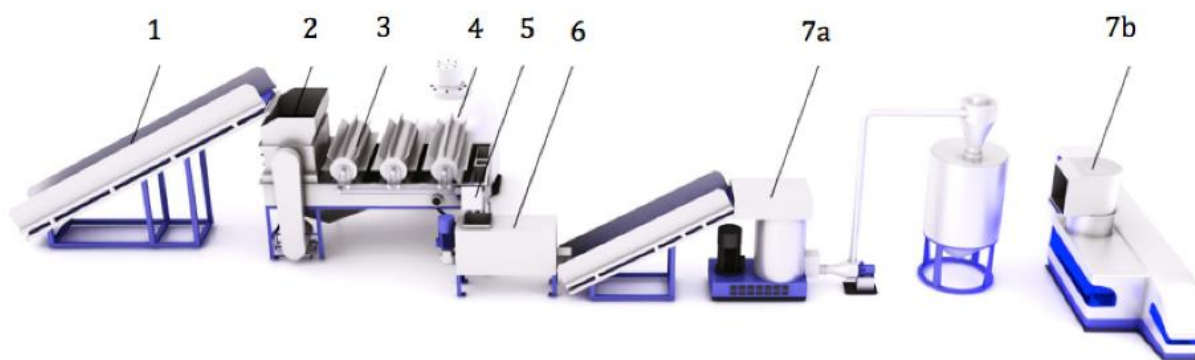
*Obr. 36: Perforátor PET láhví. [51]*

Výše je popsáný chod materiálu v teoretické dotříd'ovací lince primárně spojen s manuálním tříděním, v dnešní době již existují i dotříd'ovací linky poloautomatické nebo i plně automatické. Dotříd'ovací linku lze doplnit například rotačními separátory, o různé drtiče a lis, řezačky, vzduchové třídiče, detektory kovů, optické třídící systémy atd. Většinou jde o velmi finančně nákladná zařízení a jejich použití je tedy omezeno finančním kapitálem investora.

## 6.4 Recyklační linka

Dalším krokem v komplexním řetězci zpracování plastového odpadu je recyklační linka. Tato kapitola je stěžejní pro praktickou část práce, kde je vytvořen TE model recyklační linky. Technologie recyklační linky je umístěna do průmyslové plechové haly s dostatečnou velikostí, aby byla zajištěna snadná manipulace s recyklovaným materiálem. Součástí haly jsou i skladovací kóje na jednotlivé druhy vstupních plastových materiálů a skladovací prostory pro výstupní regranulát (vločky). V hale bude umístěna i laboratoř pro potřebu okamžitého vyhodnocení kvality výstupního materiálu a sociální zázemí pro potřeby pracovníků.

Vstupní roztříděný plastový materiál je po transportu od dodavatele uložen ve skladovacích kójích dle druhu. Plast vstupující do procesu by měl být co nejlépe vytríděn (frakce a čistota), aby se zamezilo kontaminaci a znehodnocení výstupních produktů (vloček, regranulátu). Nesmí obsahovat především kovy, papír, karton a další plovoucí materiály jako dřevo, pěnové materiály atd. Schematicky zobrazená recyklační linka je na Obr. 37.



Obr. 37: Schéma recyklační linky určené na zpracování PE, PP, PS a ABS: 1 – řetězopásový dopravník, 2 – drtič, 3 – sedimentační nádrž s lopatkami, 4 – čistička vody, 5 – dopravníkový šnek, 6 – odvodňovací odstředivka, 7a – aglomerátor + zásobní silo, 7b – regranulační linka.

Linka zpracovává vždy pouze jeden druh plastové materiálu v danou dobu a při změně zpracovávaného typu plastu je potřeba jednotlivé zařízení linky vyčistit a zbavit zbytků materiálu tak, aby nedocházelo k následné kontaminaci produktu. Vzhledem k rozdílné teplotě tavení jednotlivých typů zpracovávaných plastů je potřeba vždy před spuštěním zkontrolovat správné nastavení některých zařízení, především aglomerátoru a extrudéru. Některé typy plastů jako například PET láhve se rozdělují také na základě barvy (přídavná aditiva).

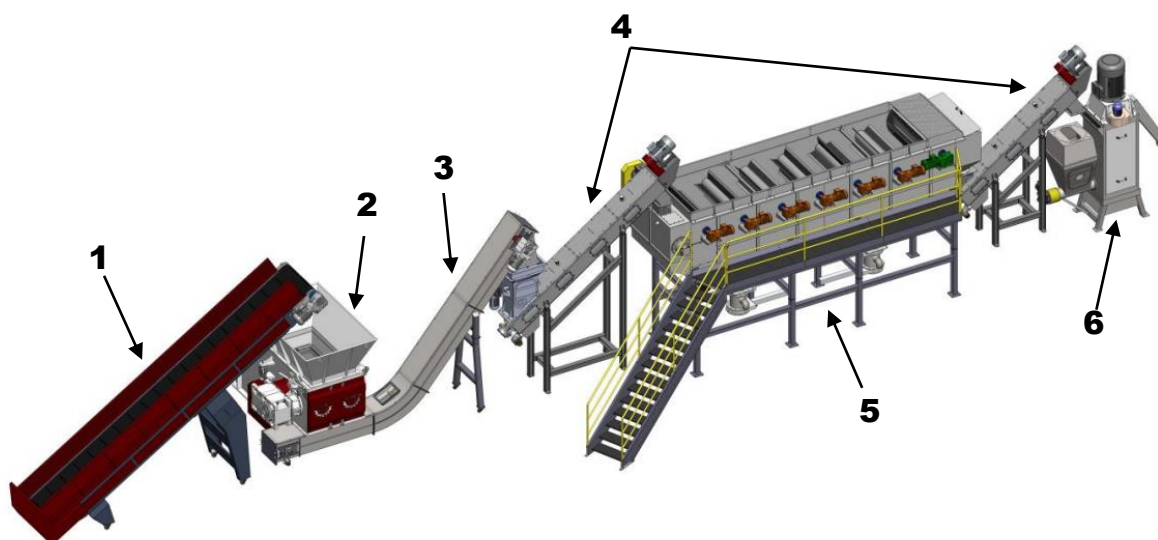
V prvním kroku linky je materiál nahrnut nebo nakladačem přesunut na horizontální dopravníkový pás, který je zabudovaný pod úroveň podlahy pro snadné dávkování. Poté je řetězopásovým dopravníkem vynesena do drtiče, kde dochází k rozsekání a nadrcení materiálu na menší frakci, resp. vločky. Důvodem je snadnější manipulace, čištění, homogenizace materiálu a usnadnění oddělení zbytkové kontaminace jinými druhy plastů. Pod drtičem je vyměnitelné síto, kterým lze regulovat velikost výstupní frakce. Následuje předčištění ve vysokorychlostní frikční pračce, kde dochází k odstranění hrubých nečistot, zbytků lepidel a oddělení slepených částí. Zároveň frikční pračka zajistí dopravení materiálu do flotační nádrže.

Flotační nebo taky sedimentační nádrž je klíčovým aparátem linky. Tyto nádrže se vyrábí v několika provedeních, záleží na druhu plastového materiálu, který chceme primárně dostat na výstupu z této nádrže. Princip fungování těchto nádrží je detailněji popsán v kapitole 6.4.4.



Plasty, s hustotou menší než kapalina v nádrži, zůstávají na hladině a jsou unášeny rotujícími válci s lopatkami k vyústění z nádrže. Kromě unášivého pohybu lopatky způsobují opakované ponoření jednotlivých částic pod hladinu, čímž zajišťují lepší mycí a separační účinky. Dno nádrže má tvar písmene „V“, takže se zde plastový materiál, který má vyšší hustotu než látka obsažená v nádrži hromadí. Šnekovým dopravníkem je ze dna nádrže materiál dopravován k dalšímu zpracování nebo je shromažďován a následně odvážen z recyklačního závodu jako odpad. V řetězci recyklační linky je možné využít i více těchto nádrží za sebou pro dokonalé proprání materiálu a zajištění separace, kdy v každé nádrži je použita kapalina o různé hustotě. Po výstupu z flotační nádrže je materiál naposledy proprán ve frikční pračce a je dopraven k dalšímu kroku (odvodnění).

Dalším krokem je odvodnění materiálu, které probíhá v odstředivkách nebo speciálních odvodňovacích zařízeních. V další fázi recyklační linky je přítomnost vody nežádoucí. Tento proces je v případě výstupní frakce ve formě vloček závěrečný a výsledné vločky se vysuší a následně se jimi naplní velkoobjemové pytle, které jsou uskladněny a jako finální druhotná surovina jsou vločky prodány k výrobě produktů z recyklovaného materiálu. Ukázka takovéto linky je na Obr. 38.

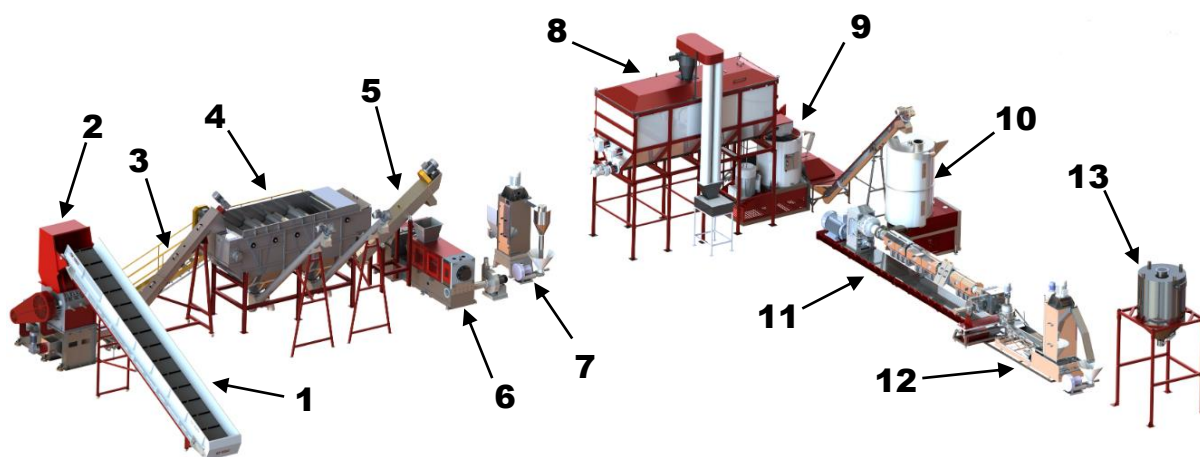


*Obr. 38: Recyklační linka s výstupní frakcí v podobě „vloček“: 1 – řetězopásový dopravník, 2 – drtič, 3 – dopravník, 4 – frikční pračky, 5 – flotační nádrž, 6 – odvodňovací odstředivka [54]*

V případě zpracování do podoby regranulátu následuje uložení materiálu v zásobovacím silu. Důvodem je zvýšená kapacita dalších zařízení linky, takže tato část linky se spouští pouze po nahromadění určitého množství vstupního materiálu. Druhým důvodem použití sila je nekontinuální provoz dalšího zařízení linky, kterým je aglomerátor. V aglomerátoru se vločky pomocí rotujících nožů při tření za vzniku frikčního tepla mění na zrna, která je možné využít jako vstupní materiál pro extrudér. V tomto kroku lze do vsázky přidat aditiva, aby bylo dosaženo požadovaných vlastností. Detailní popis funkce aglomerátoru je v kapitole 6.4.7.

Z aglomerátoru je dopravníkem materiál dopraven do zásobníku extrudéru. Jelikož extrudér pracuje kontinuálně je zapotřebí jej před vstupem shromáždit dostatečné množství pro nepřerušené dávkování. Aglomerát je ve šnekovém ústrojí extrudéru zahříván a působením tření a tepla přejde do plastického stavu. Následně je tlačен skrz vytlačovací hlavu do tvaru

jednotlivých strun. Tyto struny jsou nasekány na menší frakce tzv. pelety, které je potřeba ihned ochladit, aby si zachovaly konkrétní tvar. V odstředivce jsou pelety zbaveny vlhkosti a jsou plněny do připravených velkoobjemových pytlů dle druhu a barvy. Takto zpracovaný materiál má oproti „vločkám“ na trhu s recyklovaným plastem vyšší hodnotu. Jednotlivá zařízení použitá v recyklační lince jsou v následujících kapitolách podrobněji popsány a je detailněji popsán princip jejich funkce. Na Obr. 39 je ukázka recyklační linky, která má jako výstupní frakci regranulát/pelety.



*Obr. 39: Recyklační linka s výstupní frakcí v podobě pelet: 1 – řetězopásový dopravník, 2 – drtič, 3 – dopravník, 4 – flotační nádrž, 5 – frikční pračka, 6 – odvodňovací zařízení, 7 – vysoušecí odstředivka, 8 – skladovací silo, 9 – aglomerátor, 10 – zásobník aglomerátu, 11 – extrudér, 12 – peletizér, 13 – plnění stanice [54]*

#### 6.4.1 Dopravníky

K dopravě materiálu mezi jednotlivými zařízeními jsou nejčastěji použity pásové dopravníky, rozlišují se lehké kluzné, žlabové nebo válečkové. Válečkové sekce se používají pro dopravu těžších materiálů. Dle požadované kapacity, vlastnostem dopravovaného materiálu a dalším požadavkům zákazníka je zvolena délka, šířka a sklon dopravníku. Pokud je sklon dopravníku větší než  $15^\circ$  je vhodné umístit na něj příčné profily, tzv. hradítka, které zamezí skluzu materiálu. Pás dopravníku lze dodat dle požadavků z PVC nebo gumy. Pohon dopravníku se nejčastěji umísťuje na koncovou část, která je po směru toku materiálu a je zajištěn převodovkou nebo elektrobubnem. Ukázka řetězopásového dopravníku je na Obr. 40. [52]





*Obr. 40: Příklad řetězopásového dopravníku. [53]*

U uvažované linky jsou použity dva typy dopravníků, jejich parametry jsou shrnuty v Tab. 9.

*Tab. 9: Parametry dopravníků recyklační linky. [54]*

Typ dopravníku	Délka [mm]	Šířka [mm]	Tloušťka pásu [mm]	Elektrický příkon [kW]
Horizontální	4 000	950	6	3
Řetězopásový	7 500	950	6	4,5

## 6.4.2 Drtič

Drtiče slouží k nadrcení vstupního materiálu na homogenní výstupní frakci požadované velikosti. Požadované výstupní velikosti je dosaženo v jednom stupni drcení, což je značná výhoda. Je použit jednohřídelový drtič, který pracuje na principu drcení materiálu mezi břity upevněnými na otáčejícím se rotoru a pevně uchyceným statorovým ostřím ve tvaru hřebene. Pod prostorem, kde probíhá samotné drcení, se nachází síto určující velikost výstupní frakce. Síto je vyměnitelné a změnou velikosti jeho otvorů lze ovlivnit kapacitu drtiče. Na Obr. 41 je detailní pohled na otáčející se rotor jednohřídelového drtiče. [55]



*Obr. 41: Detail jednohřídelového drtiče. [56]*

Parametry použitého drtiče jsou shrnuty v Tab. 10. Aby bylo zajištěno kontinuální dávkování, je materiál na lis vtlačován hydraulickým ramenem. Rotor a hřídel převodovky nejsou spojeny svařem ale pomocí šroubů z důvodu snadné demontáže v případě poruchy. V případě zaseknutí materiálu je možná rotace rotoru v opačném směru. [54]

*Tab. 10: Parametry drtiče. [54]*

Drtič	Délka rotoru [mm]	Průměr rotoru [mm]	Rychlost rotoru [ot/min]	Elektrický příkon [kW]
Jednohřídelový	4 000	950	6	171

### 6.4.3 Frikční pračka

Jedná se o speciální typ dopravníku, který materiál dopravuje do flotační nádrže a zajišťuje prvotní hrubé předčištění. Je osazen otáčejícím se rotorem, který má po celé své délce přivařeny lopatky, které materiál vynášejí na konec dopravníku. Čištění zajišťují vodní trysky umístěné po celé délce, jelikož části dopravníku přicházejí do styku s vodou je vyroben z nerezové oceli. Pro případ zaseknutí materiálu je možné rotor uvést do opačného směru otáčení. Na Obr. 43 je ukázka frikční pračky a na Obr. 42 je detail vnitřního prostoru s detailem lopatek. [54]



*Obr. 43: Frikční pračka. [54]*



*Obr. 42: Detail lopatek na rotoru. [54]*

#### 6.4.4 Mycí a flotační nádrž

Tyto nádrže jsou jedním z klíčových zařízení celé recyklační linky. Slouží jednak k separaci plastů na základě jejich hustoty a sekundární funkcí je odstranění veškerých nečistot a nežádoucích materiálů. Pokud je jako flotační činidlo použita voda, u hladiny zůstává PP a PE, zatímco ke dnu nádrže se potopí ostatní druhy polymerů jako PET, PS, PVC, ABS atd. Spolu s plasty, které mají větší hustotu než voda, se ke dnu nádrže potápí i nečistoty. Do vody se přidávají soli nebo alkohol, což mění její hustotu a lze tak dosáhnout snadnějšího oddělení. Hlavní překážkou v tomto typu separace je shodná nebo často velice podobná hodnota hustoty jednotlivých druhů plastů. Dalším problémem mohou být nejrůznější aditiva přidávána do plastových výrobků, jako jsou různá plniva, vlákna atd. Tyto přísady mění hustotu těchto materiálů a separace flotační metodou pak není účinná. Na Obr. 44 je ukázka flotační nádrže, která je použita v uvažované recyklační lince. [39]



*Obr. 44: Ukázka mycí a zároveň flotační nádrže. [54]*

Nadrcený materiál je dopravován na začátek nádrže, kde je pomocí několika rotorů s lopatkami tlačén vpřed a zároveň pod vodní hladinu s cílem zlepšení samotné separace. Extrakce usazovaného materiálu je zajištěna pomocí systému šnekových dopravníků, směr otáčení šneku na dně nádrže je protiproudý. Dalším navazujícím šnekovým dopravníkem je tento materiál dopraven k dalšímu zpracování. Pro šnekové dopravníky jsou použity motory o výkonu 4 kW, jednotlivé lopatkové rotory jsou poháněny motory o výkonu 2,2 kW. V Tab. 11 jsou shrnuty základní parametry použité flotační nádrže. [54]

*Tab. 11: Parametry flotační nádrže. [54]*

Typ zařízení	Rozměry nádrže [mm]	Průměr šnekových dopravníků [mm]	Počet lopatkových rotorů [ks]	Elektrický příkon [kW]
Flotační nádrž	4 000 x 1 500 x 1 700	300	5	20

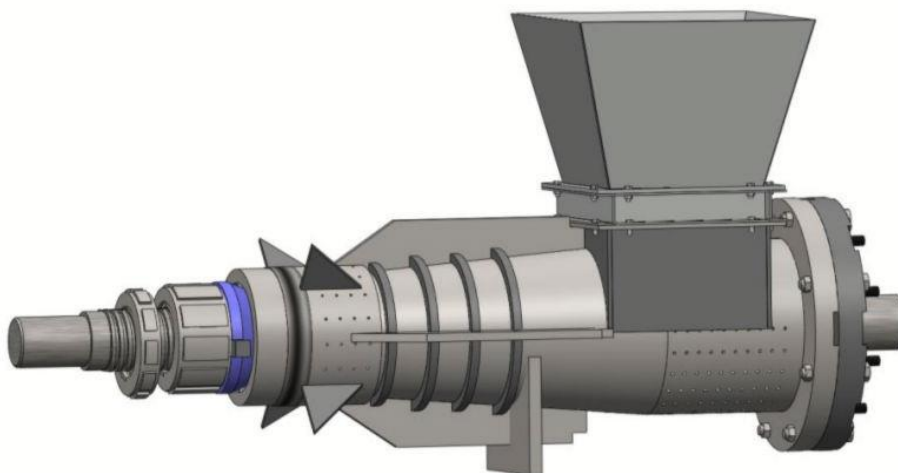
### 6.4.5 Odvodňovací systémy

Poté co materiál prošel čistícím systémem je potřeba odebrat vlhkost pro zlepšení jeho sypných vlastností. Používají se různé centrifugy, odstředivky nebo je materiál vytlačován skrz mechanické ústrojí, kdy je tlačén šnekovým kuželovým ústrojím a tlakem je z něj odstraněna voda, která odchází otvory v plášti kolem kužele. Zbytková vlhkost materiálu závisí na typu a tloušťce materiálu a pohybuje se mezi 4 až 7 %. Na Obr. 45 je odvodňovací přístroj s kuželovým ústrojím, je používáný především k odstranění vody ze směsi PP nebo PE. [57]



*Obr. 45: Odvodňovací přístroj na PP a PE fólie. [54]*

V uvažované recyklační lince je použit odvodňovací přístroj s kuželovým šnekovým ústrojím, jeho detail je na Obr. 46. V Tab. 12 jsou uvedeny základní vybrané parametry. Získaná odpadní voda je vyčištěna a vrácena zpět do procesu.



Obr. 46: Kuželovité ústrojí odvodňovacího přístroje. [54]

Tab. 12: Základní parametry odvodňovacího přístroje. [54]

Typ zařízení	Rozměry nádrže [mm]	Průměr šnekových dopravníků [mm]	Zbytková vlhkost [%]	Elektrický příkon [kW]
Odvodňovací přístroj	4 000 x 1 500 x 1 700	300	4 – 7	110

#### 6.4.6 Skladovací silo

Jelikož materiál do aglomerátoru není možné dávkovat kontinuálně, ale v daných cyklických dávkách, je potřeba materiál před tímto krokem skladovat. Nejčastěji se volí skladovací sila o určitém objemu. Materiál uvnitř sila je promícháván, aby bylo zamezeno možnosti ucpání. Následné dopravení materiálu do aglomerátoru je zajištěno dvěma šnekovými dopravníky umístěnými na dně sila. Na Obr. 47 je ukázka skladovacího sila. [54]



Obr. 47: Skladovací silo pro materiál. [58]

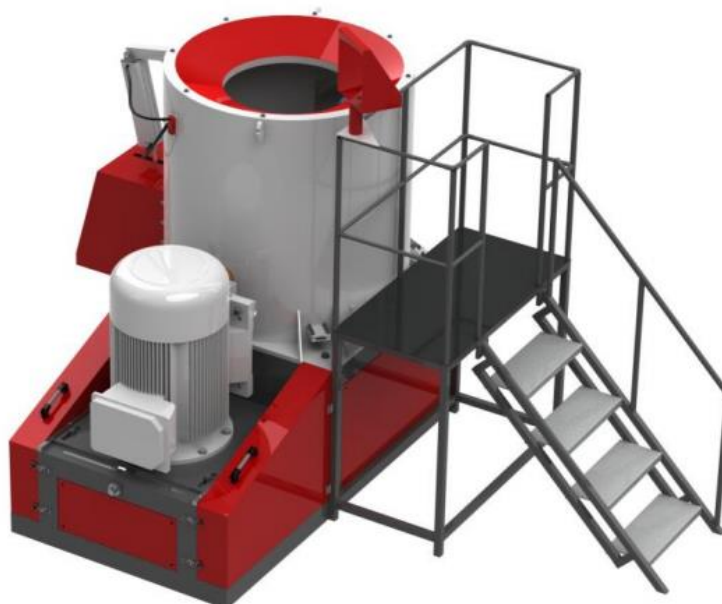


### 6.4.7 Aglomerátor

Vstupní materiál do aglomerátoru tvoří neznečištěný a vyseparovaný odpad, který je zpracován na aglomerát o velikosti zrn 2 – 5 mm. Výstupní aglomerát je bez dalších úprav možné využít jako vstupní surovinu pro vytlačovací zařízení. Často je takto zpracovaný aglomerát smíchán v přesně daném poměru s panenským materiálem, aby bylo dosaženo požadované kvality výstupní suroviny. Na Obr. 48 je ukázka aglomerátoru, který je využit v uvažované recyklační lince. V Tab. 13 jsou uvedeny základní údaje aglomerátoru. [59]

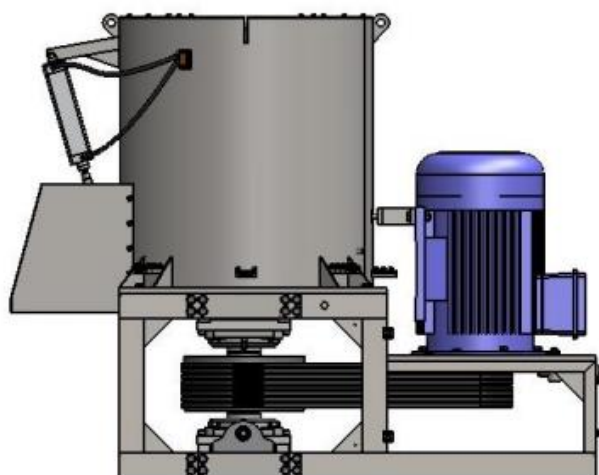
Tab. 13: Základní parametry aglomerátoru. [54]

Typ zařízení	Průměr nádoby [mm]	Šířka nádoby [mm]	Výška nádoby [mm]	Elektrický příkon [kW]	Rozměry rotujících nožů [mm]	Rozměry stacionárních nožů [mm]
Aglomerátor	1 300	10	1 300	160	360 x 75 x 10	210 x 60 x 10



Obr. 48: Ukázka aglomerátoru použitého v uvažované lince. [54]

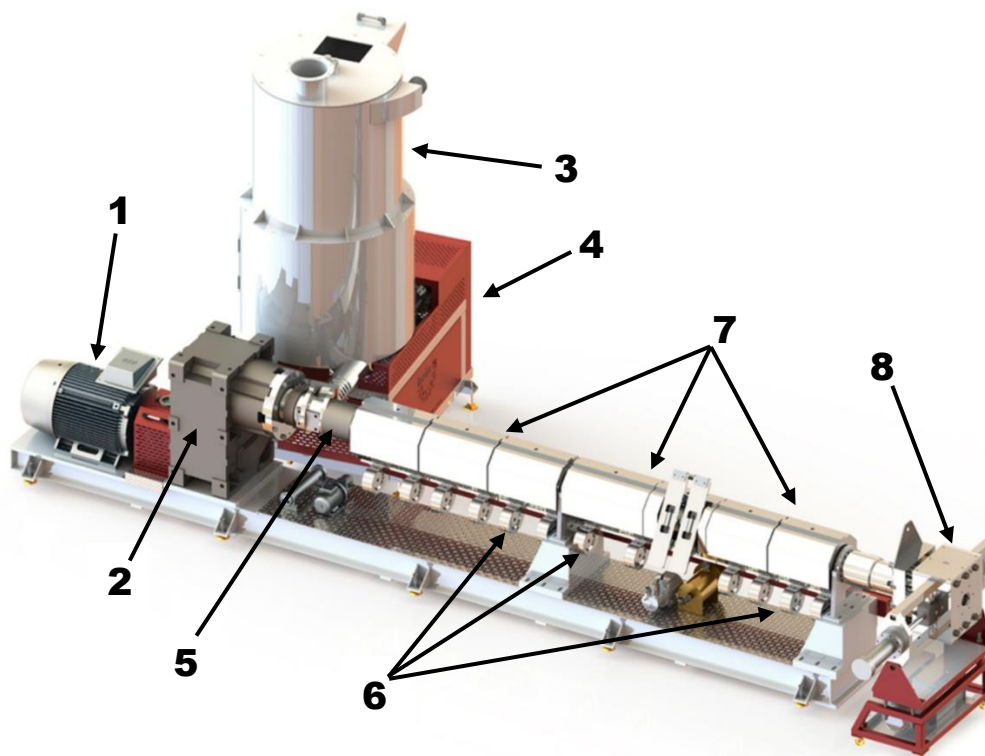
Zařízení zpracovává odpad v cyklických dávkách, každá dávka je přesně odvážena a do přístroje je dodána ze skladovacího sila. V pracovním prostoru stroje se nachází soustava stacionárních a rotujících nožů, vložený materiál je sekán a drcen na menší části. Vlivem tření vzniká frikční teplo a ohřívá vsázku na aglomerační teplotu, při které dochází k natavení povrchu jednotlivých částic materiálu. Teplota směsi v pracovním prostoru se zvyšuje a po dosažení potřebné teploty je za nepřerušného chodu soustavy nožů do prostoru vstříknuto přesně dané množství vody. Dojde k prudkému ochlazení, což má za následek shlukování materiálu do granulí, ty jsou následně drceny rotujícími noži. Následuje odsátí vznikající páry a poté už je výsledný aglomerát vypuštěn do zásobníku nebo dopravován k dalšímu zařízení. Na Obr. 49 je boční pohled na technologické schéma aglomerátoru. [59]



*Obr. 49: Boční pohled na aglomerátor. [54]*

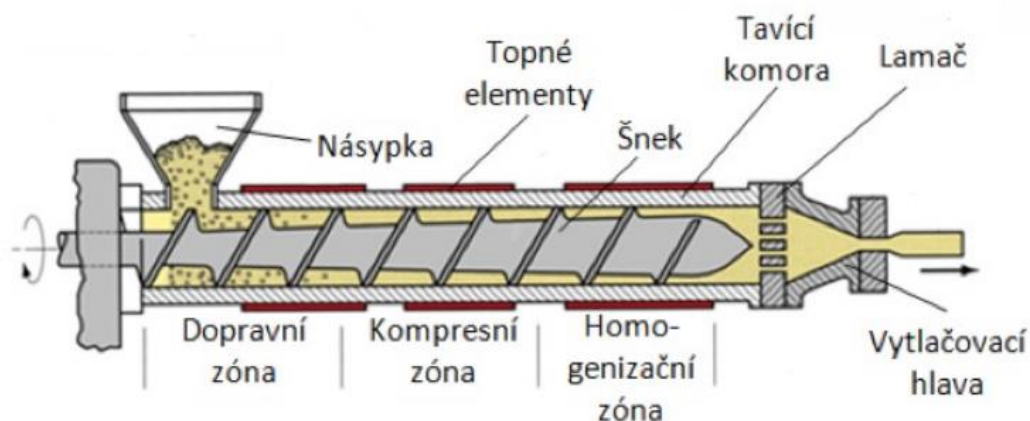
#### 6.4.8 Granulační extrudér

Finální regranulát se vyrábí na vytlačovacích strojích (extrudérech) se strunovými vytlačovacími hlavami. Vytlačovací stroj musí zabezpečit hlavně rovnoměrnou dodávku taveniny před čelem šneku, rovnoměrné prohřátí v celé délce válcové komory, homogenní promíchání aditiv v tavenině a dostatečný výkon pro vytlačení materiálu. Základem extrudéru je mechanicky pevný rám, je v něm uložena pohonná jednotka s možností plynule měnit počet otáček a převodové ústrojí. Pro lepší představu je na Obr. 50 ukázka extrudéru využitého v uvažované recyklační lince s popisem jeho nejdůležitějších částí. [60]



*Obr. 50: Schéma extrudéru: 1 – motor, 2 – převodová skříň, 3 – zásobník aglomerátu, 4 – filtrační systém, 5 – válcová komora, 6 – chlazení válce, 7 – topné elementy, 8 – vytlačovací hlava. [54]*

Vstupní aglomerát je skladován v zásobníku, odkud je pneumatickým systémem kontinuálně dodáván do válcové komory, označované také jako plastikační komora. V této komoře je pomocí pohonné jednotky uváděn do pohybu šnek, který materiál dopravuje dále do válce. Důležitým parametrem je délka šneku, uvádí se jako násobek jeho průměru a obvykle se tato hodnota pohybuje v rozmezí 20 – 40 násobku jeho průměru. Válcová komora je po svém obvodu v několika sekcích zahřívána topnými tělesy, rotující šnek zajišťuje pohyb materiálu skrze tyto topné sekce a regranulát postupně přechází do plastického stavu vlivem působení tepla a tření. Válec se obvykle obecně dělí do tří sekcí, první část se označuje jako plnicí (dopravní) část, prostřední část jako plastikační (kompresní) a poslední jako vytlačovací (homogenizační) část. Průchodem skrz válcovou komoru se vsázka promíchává, přechází do plastického stavu, zhutňuje se a homogenizuje. Na konci komory se zvyšuje tlak, pod kterým je zhomogenizovaný materiál vytlačován, materiál prochází přes tzv. lamač, ten zajišťuje ustálení tlaku a rychlosti průchodu taveniny. Zároveň rozbíjí rotační pohyb, který byl tavenině udán otáčením šneku a po prostupu přes lamač má tavenina pouze přímočarý pohyb. Součástí lamače je často i síto, které zachycuje nečistoty a zvyšuje tak kvalitu výsledného produktu. Na Obr. 51 je průřez extrudérem a jsou označeny jeho hlavní elementy a součásti.



Obr. 51: Schématický průřez extrudérem. [60]

Poslední částí extrudéru je vytlačovací hlava, kde dochází k formování taveniny do finálního tvaru a poklesu tlaku až k hodnotám okolního prostředí při výstupu z hlavy. Geometrie a tvar vytlačovací hlavy musí reflektovat potřebu plynulého průchodu taveniny tak, aby nedošlo k hromadění nebo zastavení toku materiálu. Z tohoto důvodu je povrch tvarové části hlavy velmi hladký. V celém průřezu vytlačovaného profilu je potřeba zajištění homogenního tlaku taveniny, aby rovnoměrnou výtokovou rychlost taveniny v celém profilu. Vytlačovací hlavy jsou většinou k tavící komoře připojeny šroubovým spojením nebo bajonetovým mechanismem z důvodu snadné a rychlé výměny v případě potřeby. [61] Základní parametry extrudéru použitého v uvažované recyklační lince je v Tab. 14.

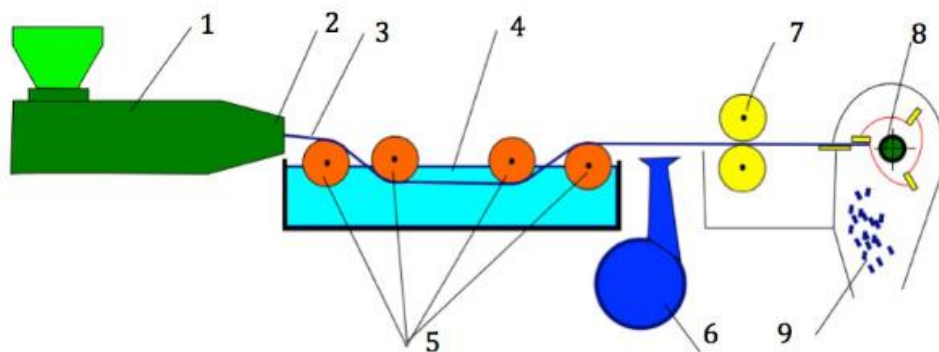
Tab. 14: Základní parametry extrudéru. [54]

Typ zařízení	Průměr šneku [mm]	Poměr délka/průměr šneku [-]	Otáčky šneku [ot/min]	Elektrický příkon [kW]	Maximální kapacita [kg/h]
Extrudér	150	36	0 – 100	366,5	850



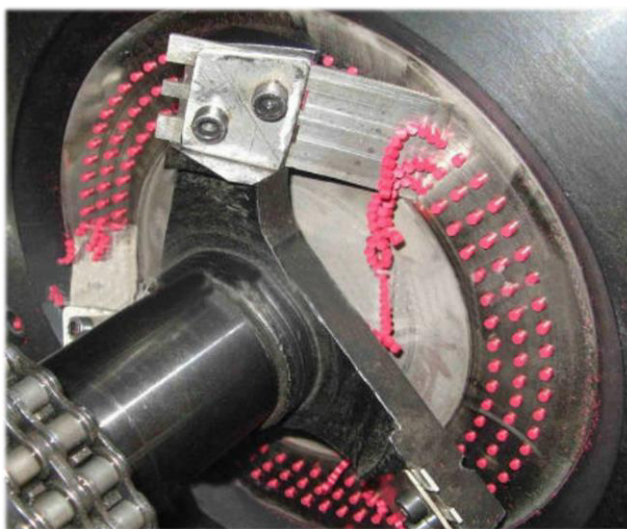
### 6.4.9 Peletizace

Podle procesu dělení struny po vytlačení se rozlišují dva typy zpracování, je to granulace za tepla a granulace za studena. Při granulaci za studena se struna dělí až po vychladnutí, kdy je již v pevném skupenství. Nejprve je po výstupu z vytlačovací hlavy materiál ochlazen, to je provedeno proudem vzduchu nebo vodní mlhou, a poté následuje průchod vodní lázni. Posledním krokem je nařezání na požadovanou velikost. Schéma tohoto postupu je na Obr. 52. [61]



*Obr. 52: Granulace za studena: 1 – extrudér, 2 – vytlačovací hlava, 3 – struny taveniny, 4 – vodní lázeň, 5 – vodící kotouče, 6 – ventilátor, 7 – podávací kotouče, 8 – rotující nože, 9 – pelety. [61]*

Naopak při granulaci za tepla se struna dělí ihned po výstupu z vytlačovací hlavy. Tavenina je z tavicí komory extrudována skrz vytlačovací hlavu se systémem děr, po výstupu jsou jednotlivé pelety ihned odděleny rotujícími noži, ukázka tohoto procesu je na Obr. 53. [61]



*Obr. 53: Granulace za tepla – sekání strun taveniny na pelety. [62]*

Následuje rychlé ochlazení pelet, což se nejčastěji realizuje vodní lázní. Ochlazením se dosáhne potřebného vytvrzení a pelety tak neztratí svůj tvar. K odvodnění pelet se využívá odstředivky a posledním krokem v recyklační lince je plnicí stanice. Ventilátorem jsou jednotlivé pelety dopraveny až k násypce, která plní připravené velkoobjemové pytle finálním produktem. Ukázka granulátoru je na Obr. 54. [54]



Obr. 54: Granulátor. [54]

Základní parametry granulátoru použitého v recyklační lince jsou uvedeny v Tab. 15. [54]

Tab. 15: Parametry granulátoru. [54]

Typ zařízení	Otáčky motoru nožů [ot/min]	Elektrický příkon [kW]	Počet nožů [ks]
Granulátor	1 500	18,2	2

## 6.5 Výroba produktů z recyklátu

Posledním krokem k dokončení procesu recyklace plastů je výroba produktů z vloček nebo pelet, které byly získané z recyklační linky (výstup z linky). V současné době se pro získání finálních plastových produktů využívá celá řada technologických postupů. Volba konkrétní technologie a výrobního procesu závisí na vlastnostech vstupního materiálu, dále na tvaru a funkci výrobku a v celkovém důsledku také na ekonomii celého procesu. Podle způsobu zpracování je možné technologie rozdělit na tvářecí, tvarovací a doplňkové. [63]

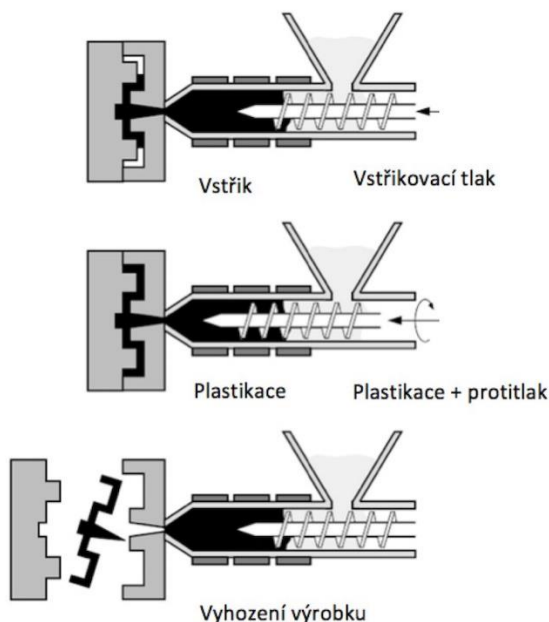
Pro tvářecí technologie je typická zásadní změna tvaru výsledného produktu oproti výchozímu materiálu, kterým je nejčastěji granulát, pelety, prášek nebo pasta. Tváření je realizováno při působení zvýšené teploty nebo tlaku, případně je možné kombinovat působení obou parametrů. Mezi tvářecí technologie patří technologie vstřikování, vytlačování, lisování, válcování, odlévání, laminování, atd. Výsledným produktem tohoto typu zpracování je konečný výrobek nebo polotovár. V následující části práce jsou popsány nejčastější technologie využívané při výrobě termoplastů. [63]

- **Vytlačování:** vstupní materiál je roztaven a pomocí šneku v extrudéru kontinuálně vytlačován skrz formu do požadovaného tvaru. Mezi výrobky vytvořené tímto způsobem patří roury, trubky, fólie, desky, profily, opláštěné vodiče, atd. Na Obr. 55 je ukázka rozmanitosti profilů vyrobených vytlačováním. [35]



Obr. 55: Ukázka výrobků vytvořených vytlačováním. [64]

- **Vstřikování:** materiál je nejprve zahřát a roztaven, poté se tavenina lisem vstříkuje do připravené formy požadovaného tvaru a tuhne. Tímto způsobem se vyrábí velké množství produktů, lze zhotovit velmi členité a velikostně různé výrobky využívané ve spotřebním průmyslu, v domácnostech nebo v automobilovém průmyslu. Proces výroby vstřikováním s nejdůležitějšími kroky je na Obr. 56. [35]



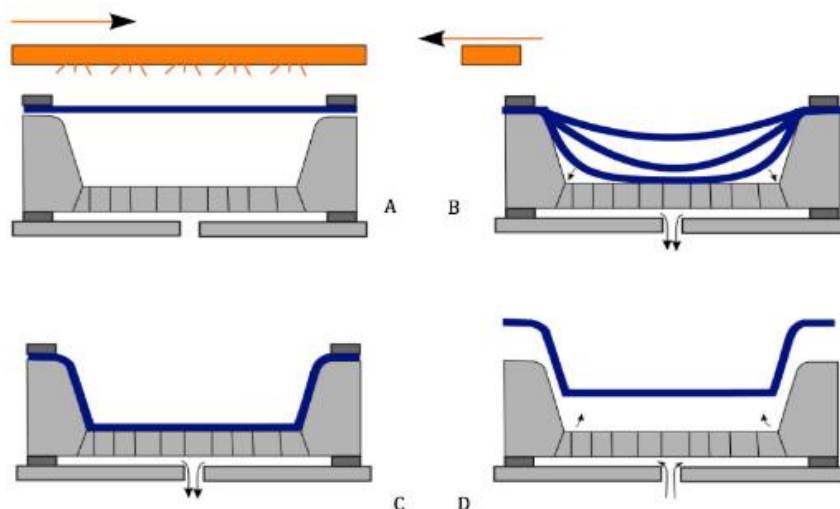
Obr. 56: Proces výroby technologií vstřikování. [61]

- **Vyfukování:** tento způsob se využívá k výrobě lahví, nádrží, nádob a dalších dutých dílů. Je výhodný díky velké produktivitě a téměř nulovému odpadnímu materiálu. Předlisek, který se získá metodou vytlačování nebo vstřikování je upnut do formy a pomocí tlaku vzduchu je vyfouknut do finálního tvaru dle formy. Předlisek je třeba zahřát na teplotu, při které je lehce tvarovatelný, ale udrží si potřebnou soudržnost. [35] Technologie vyfukování se využívá i pro výrobu PET lahví. Polotovar, který je vyfouknut do podoby láhve se nazývá preforma. Ukázka těchto polotovarů je na Obr. 57. Mohou se lišit druhem a velikostí použitého hrdla, délkou nebo hmotností polotovaru. Samotné hrdlo je již hotové a k vyfouknutí dochází v části dna a těla láhve. [61]



Obr. 57: Preformy k výrobě PET láhví. [65]

- **Vakuové tváření:** nejčastěji využívaný způsob tvarování plastů. Tepelně změkčený plát plastového materiálu je upnut nad formou s dutinou a prostor mezi plátem a formou je zaizolován, poté je ze vzniklého volného prostoru odsát vzduch a díky podtlaku plát nahřátého plastu získá požadovaný tvar. Princip vakuového tváření je znázorněn na Obr. 58. [35]

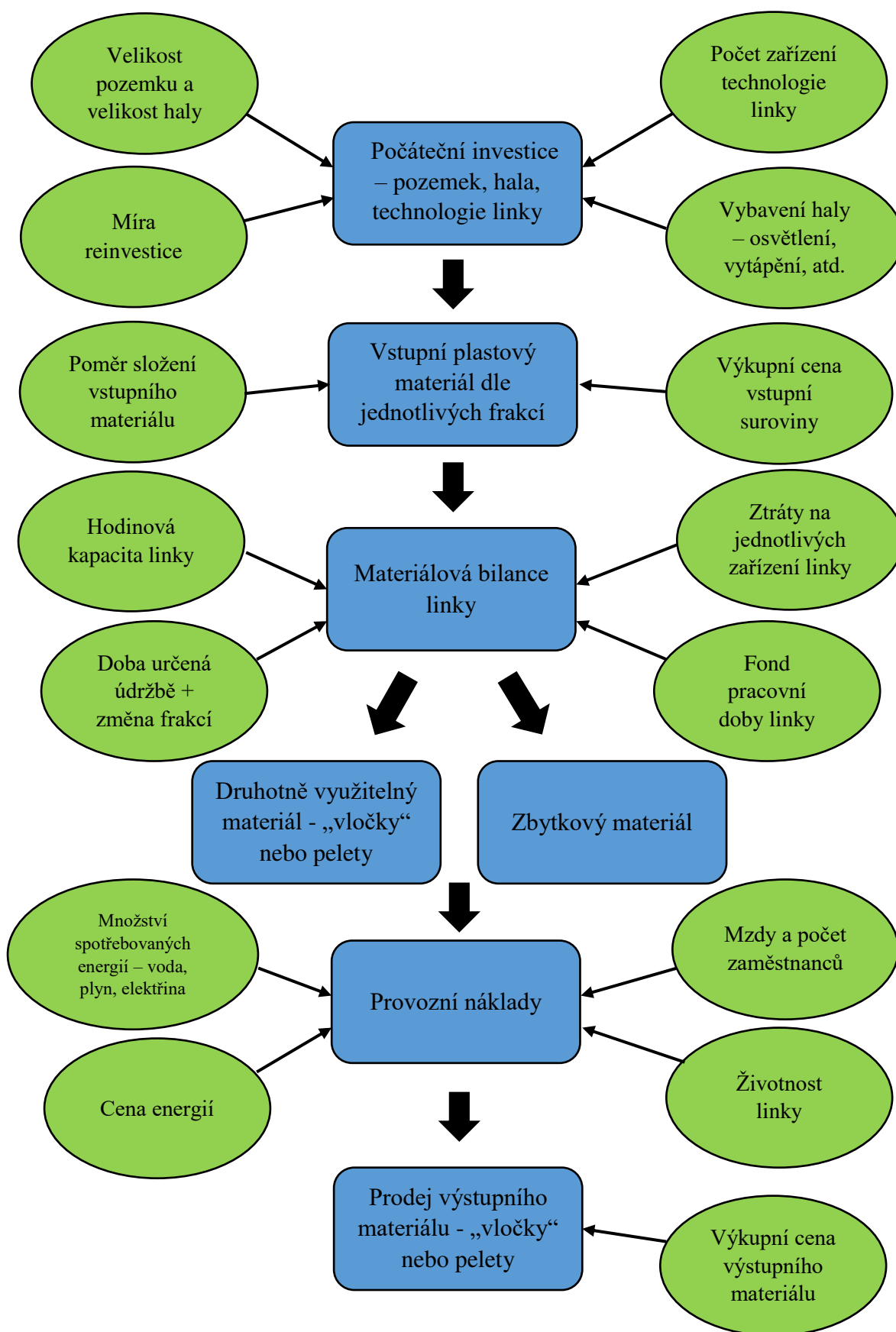


Obr. 58: Proces vakuového tváření: A – nahřátí plátu, B – vznik podtlaku, odsátí vzduchu, C – dotvarování, D – vyjmutí výrobku. [61]

- **Lisování:** při procesu lisování je materiál uložen do lisovacího stroje, kde je tlakem slisován a topnými kanály je zahříván až k teplotě blízké oblasti měknutí. Lisovaný materiál je možné předeheřívát, což zkracuje lisovací cyklus. Horní část lisu, tzv. tvárník působí tlakem na natavený materiál a zajistí tak vyplnění celé formy. Po samotném slisování je forma ochlazena, aby výlisek přešel do tuhého stavu. Posledním krokem je uvolnění lisu a vyjmutí nebo vysunutí finálního výlisku. U této technologie se často používají recyklované PET láhve, ať už ve formě drti, prášku nebo granulátu. [61]

## 7 TECHNICKO - EKONOMICKÝ MODEL RECYKLAČNÍ LINKY

Jedním z hlavních cílů práce bylo vytvoření modelového příkladu recyklační linky, který se co nejvíce blíží reálným podmínkám práce těchto zařízení a následně provést jeho ekonomické a materiální vyhodnocení. Jsou vyčísleny počáteční investiční náklady, dále náklady vznikající při samotném provozu linky, zejména pak náklady provozní a mzdové. Nejdůležitější je finanční vyhodnocení nákupu a prodeje vstupní a výstupní suroviny z linky. V modelu jsou uvažovány dvě základní varianty linky. První varianta počítá s prodejem recyklovaných plastových frakcí ve formě tzv. vloček, jedná se o zpracování druhotné suroviny, která je rozměrově konzistentní, v průběhu zpracování nadrcena, důkladně proprána, vyčištěna a následně shromážděna ve velkoobjemových pytlích k prodeji. Druhou variantou je zpracování materiálu až do formy pelet, ty mají na trhu větší uplatnění a výkupní ceny takto zpracovaného materiálu jsou vyšší, než v případě vloček. Počáteční investice je ovšem vyšší a část linky ke zpracování do formy pelet je technologicky náročnější, jak z hlediska údržby strojů, tak i z hlediska čistoty vstupního materiálu. V dalších krocích je model propočítán dle různých scénářů, které jsou vyhodnoceny především z hlediska finančních nákladů a zisků a následně porovnány. Pro lepší představu funkce modelu jsou na schématu na Obr. 59 uvedeny hlavní části modelu (modrá barva) a v zelených polích jsou uvedeny parametry, které lze měnit dle požadovaných podmínek.

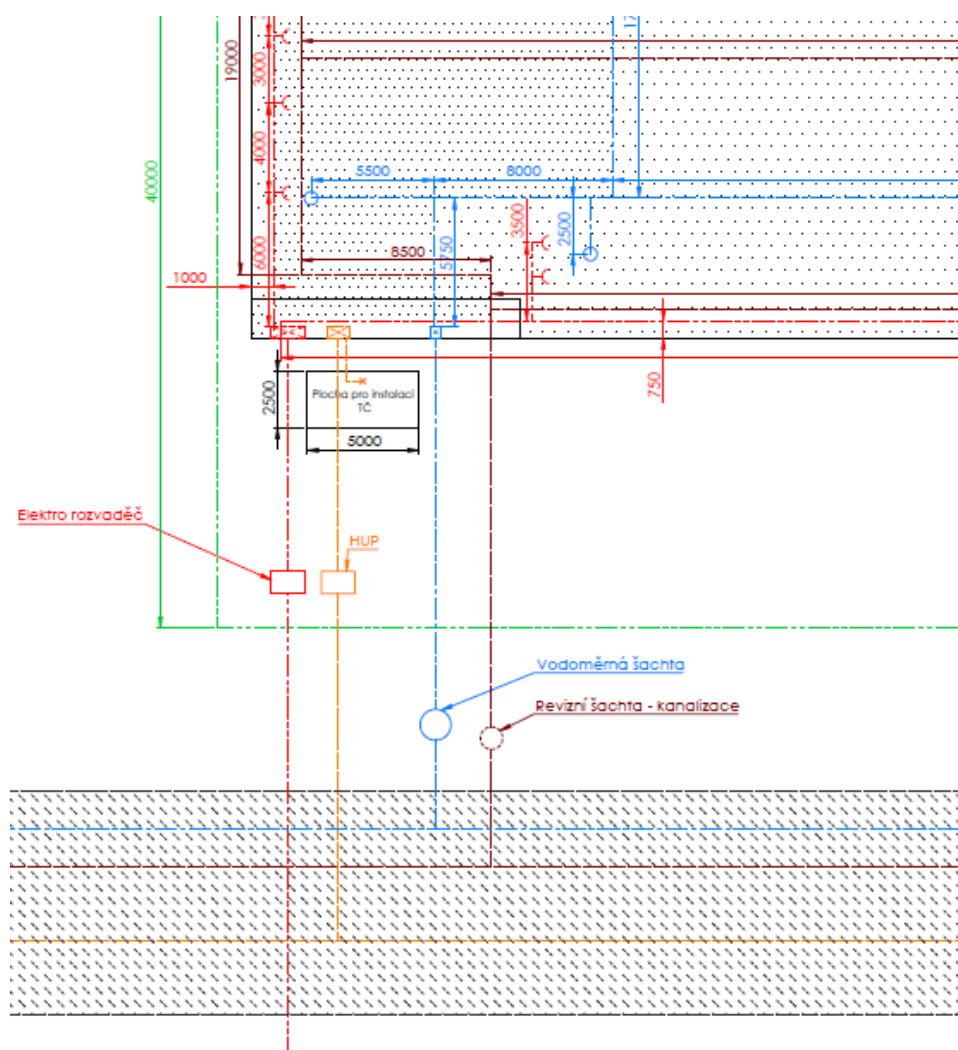


Obr. 59: Schéma koncepce TE modelu.



## 7.1 Investiční náklady

Uvažovaná investice počítá s vybudováním zcela nového provozu, do počátečních investic je tedy zahrnut i nákup dostatečně velkého pozemku včetně jeho zasilování. Na Obr. 60 je výřez ze schématického výkresu rozvodu inženýrských sítí a jejich napojení. Rozvody jednotlivých sítí i s jejich vývody jsou zjednodušeně zobrazeny i v samotné hale dle uvažovaného rozložení jednotlivých zařízení. Vývod z vodovodního řádu je uvažován v místech, kde se nachází flotační nádrže linky, granulátor, frikční pračky, laboratorní místnost a také v místě sociálního zázemí pro zaměstnance. Rozvod elektřiny kopíruje umístění regranulační linky, dále jsou přípojky uvažované v laboratoři, kancelářích, v místnosti sociálního zázemí a v prostoru váhy nákladních automobilů. Ve výkresu není znázorněn rozvod elektřiny pro potřebu osvětlení a vytápění haly. Rozvod kanalizace kopíruje umístění linky, z důvodu odvodu unikající znečištěné vody, dále prostupuje centrální částí haly, opět z důvodu odvodu znečištěné vody. Počítá se i s odvodem splaškové vody z prostoru laboratoře a sociálního zázemí zaměstnanců. Na pozemek je kromě nezbytné vody, elektřiny a kanalizace přivedeno i napojení na plyn z důvodu použití tepelných čerpadel k vytápění, chlazení vzduchu a ohřevu vody. Veškeré inženýrské sítě je zapotřebí napojit na již stávající síť, která je vedena při okraji pozemku. Náklady na připojení jsou započítány do počáteční investice. Kompletní výkres je k práci přiložen jako příloha B.



Obr. 60: Výstřížek výkresu rozvodu inženýrských sítí.

Dufka 162185



ÚPI

Veškeré další zařízení a technologie, které jsou započítány do počáteční investice, jsou shrnuty na Obr. 62. Investice jsou rozděleny do tří hlavních kategorií, jsou to stavební práce, použité technologie a vybavení haly.



Stavební práce	Technologie	Vybavení haly
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pozemek</li> <li>• Úprava pozemku</li> <li>• Inženýrské sítě</li> <li>• Příjezdová komunikace</li> <li>• Oplocení</li> <li>• Základová deska</li> <li>• Konstrukce haly</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regranulační linka</li> <li>• Vytápění + vzduchotechnika</li> <li>• Osvětlení</li> <li>• Rozvod inženýrských sítí v prostoru haly</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kanceláře</li> <li>• Sociální zázemí</li> <li>• Váha nákladních automobilů</li> <li>• Laboratoř</li> <li>• Kóje na skladování materiálu</li> <li>• Manipulační technika</li> </ul>

Obr. 62: Shrnutí počátečních investičních nákladů.

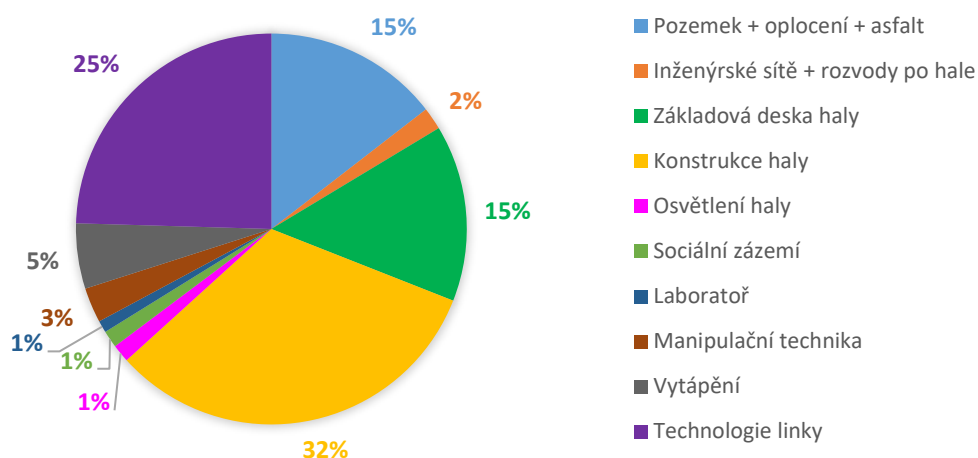
V Tab. 16 je shrnutí základních nákladů na počátku investice do recyklační linky. V modelu je počítáno s konstrukcí stejné haly jak pro variantu linky s výstupem materiálu v podobě „vloček“, tak pro variantu s výstupem v podobě regranulátu. Jediným rozdílem z hlediska investice je tedy cena samotné technologie linky.

Tab. 16: Shrnutí investičních nákladů.

Investiční náklady		
	Linka "vločky"	Linka regranulát
Pozemek + oplocení + asfalt	5 134 000 Kč	5 134 000 Kč
Inženýrské sítě + rozvody po hale	653 873 Kč	653 873 Kč
Základová deska haly	5 163 675 Kč	5 163 675 Kč
Konstrukce haly	11 421 768 Kč	11 421 768 Kč
Osvětlení haly	521 577 Kč	521 577 Kč
Sociální zázemí	500 000 Kč	500 000 Kč
Laboratoř	350 000 Kč	350 000 Kč
Manipulační technika	1 024 600 Kč	1 024 600 Kč
Vytápění	1 909 565 Kč	1 909 565 Kč
Technologie linky	8 674 512 Kč	22 853 183 Kč
<b>Celkem:</b>	<b>35 353 570 Kč</b>	<b>49 532 240 Kč</b>

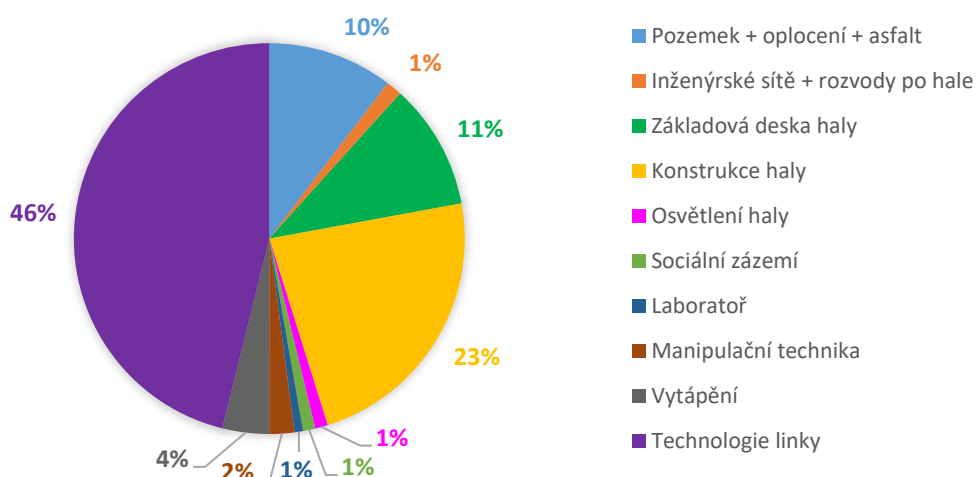
Na Obr. 63 a Obr. 64 je grafické vyjádření porovnání investičních nákladů při volbě varianty linky s výstupem v podobě „vloček“ nebo s výstupem v podobě regranulátu z Tab. 16. V případě linky s výstupem v podobě „vloček“ připadá téměř třetina počáteční investice na konstrukci samotné haly. Samotná technologie linky tvoří čtvrtinu z počátečních nákladů. Naopak v případě linky s výstupem v podobě regranulátu se razantně navyšuje cena technologie linky a tvoří téměř polovinu počáteční investice.

## INVESTIČNÍ NÁKLADY - LINKA "VLOČKY"



Obr. 63: Graf investičních nákladů s procentuálním podílem jednotlivých položek.

## INVESTIČNÍ NÁKLADY - LINKA REGRANULÁT



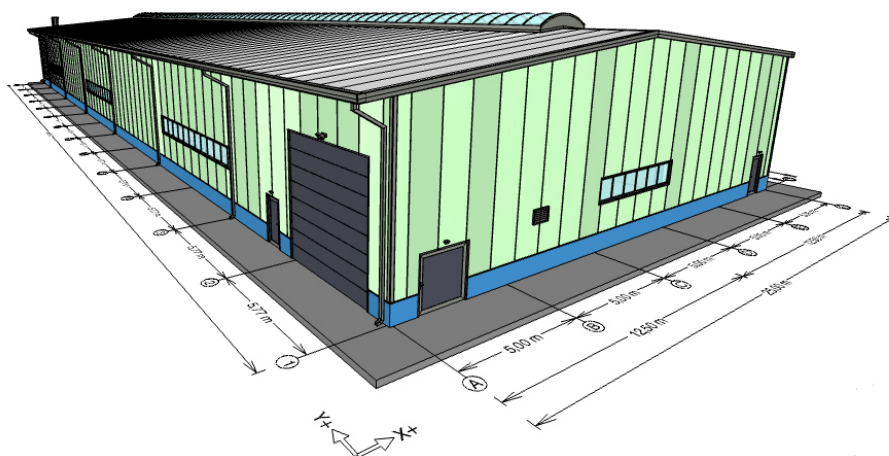
Obr. 64: Graf investičních nákladů s procentuálním podílem jednotlivých položek.

V Tab. 17 jsou shrnuty základní rozměrové údaje o pozemku a hale. Parametry označené modrou barvou lze v modelu uživatelsky měnit dle žádaných požadavků a veškeré ostatní parametry se automaticky aktualizují (dopočítají).

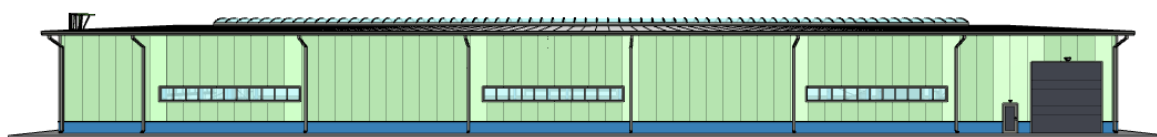
Tab. 17: Základní rozměrové údaje o pozemku a hale.

Rozměry	Jednotka	Pozemek	Hala
Délka	m	90	75
Šířka	m	40	25
Výška	m	-	7
Plocha	m <sup>2</sup>	3600	1875
Obvod	m	260	200
Obestavěný prostor	m <sup>3</sup>	-	13125
Plášť	m <sup>2</sup>	-	1400

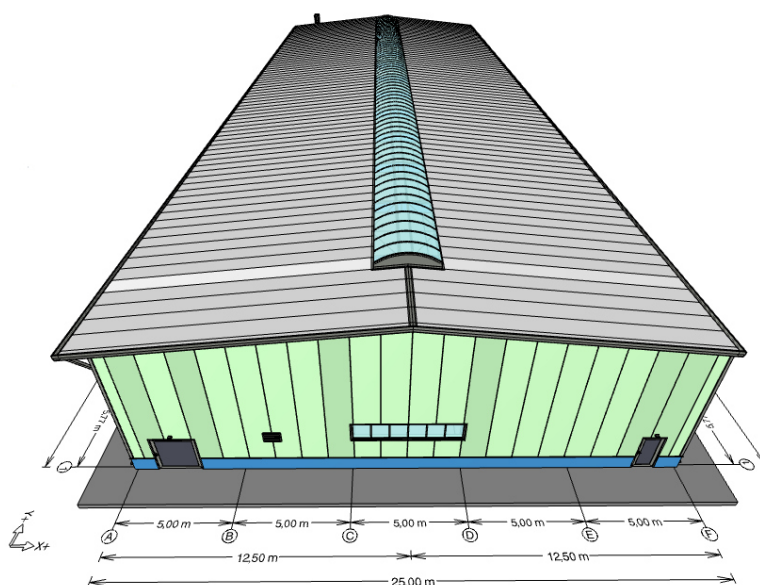
Vizualizace ukázky samotné haly byla zpracována v prostředí programu konfigurátor hal společnosti UNIHAL<sup>3</sup>. [66] Celkový pohled na halu je na Obr. 65. Rozměry haly byly zvoleny dle Tab. 17, součástí návrhu je i základní vybavení haly. Obsahuje rolovací vrata pro vjezd a výjezd nákladních vozidel, střešní světlíky, dveře, okenní pásy a svody dešťové vody. Na Obr. 66 je boční pohled na halu, na pravém okraji haly se nachází vjezd pro nákladní automobily dodávající materiál pro linku. Na Obr. 67 je vrchní pohled na halu se zakótovanými hlavními údaji.



*Obr. 65: Celkový pohled na halu. [66]*



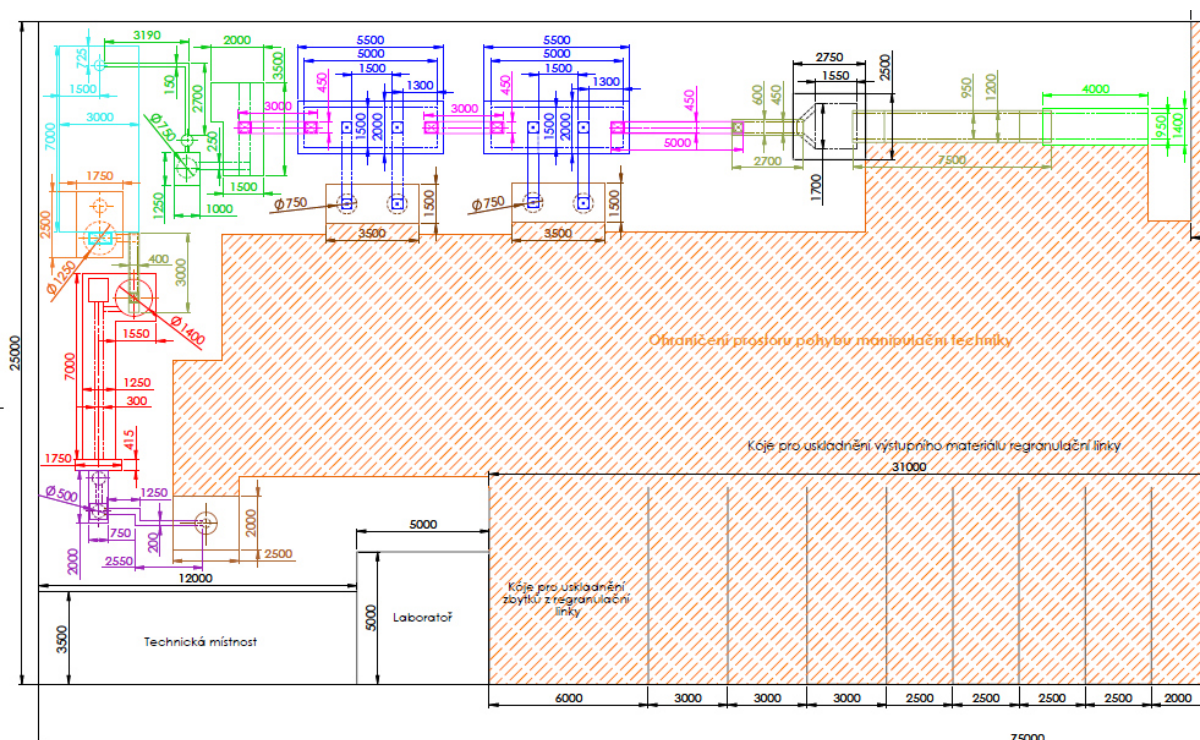
*Obr. 66: Boční pohled na halu. [66]*



*Obr. 67: Vrchní pohled na halu. [66]*

<sup>3</sup> Konfigurátor hal společnosti UNIHAL. Zdroj: <https://www.unihal.cz/konfigurator-haly>

Výřez s částí haly, kde se nachází samotná linka je na Obr. 68. Po vyložení je materiál dle typu plastu rozdělen do skladovacích kójí. Odtud je pomocí manipulační techniky dopraven na recyklační linku, její funkce je detailněji popsána v kapitole 6.4. Výstupem z linky jsou vločky nebo regranulát, druhý výstupní tok tvoří nevhodný a vyseparovaný materiál, který nesplňuje nároky na vstupní požadavky nebo čistotu zpracovatelného materiálu. Zbytkový materiál je odvezen jako odpad na další zpracování (zařízení EVO, skládka). Na konci linky jsou vločky nebo regranulát plněny do velkoobjemových pytlů, dle druhu uloženy do kójí a připraveny k převozu k dalšímu zpracování. V hale se dále nachází laboratoř, určena k okamžité kontrole složení a kvality výstupního materiálu (sleduje se zejména pórovitost výstupního produktu). V další části je umístěna kancelář a místnost se zázemím pro zaměstnance. Výkres celého prostoru vnitřní části haly je k práci přiložen jako příloha C.



Obr. 68: Výřez výkresu s částí haly, kde se nachází regranulační linka.

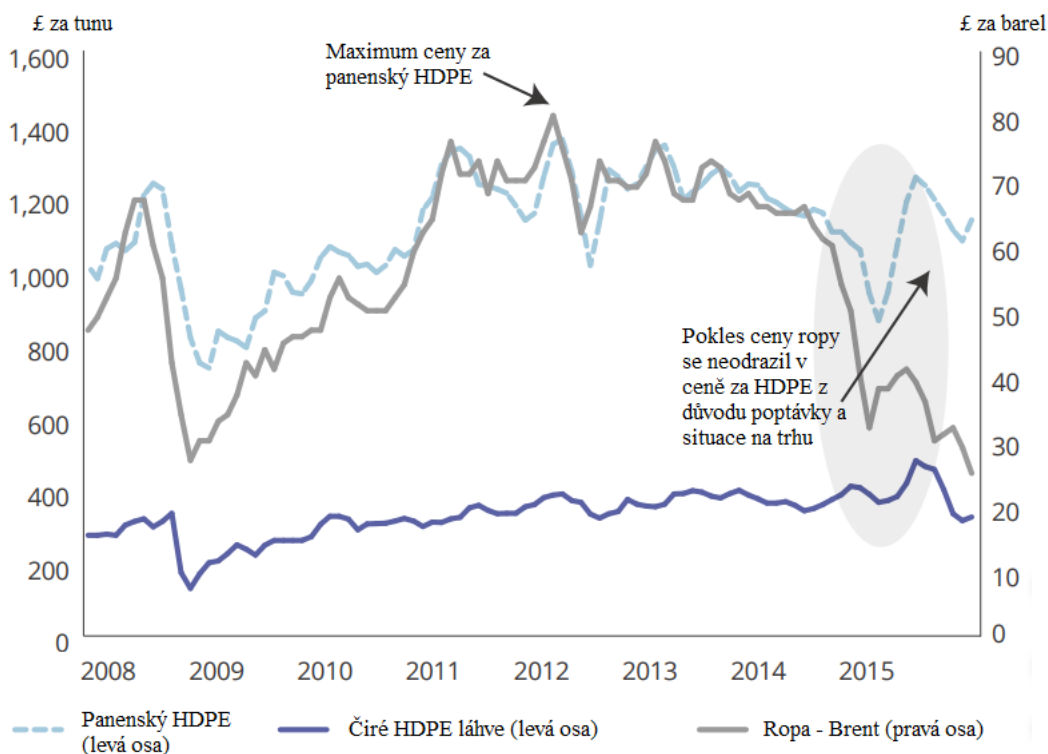
LEGENDA	
• Horizontální dopravník	• Zásobovací silo
• Řetězopásový dopravník	• Aglomerátor
• Drtič	• Extrudér
• Frikční pračka	• Peletizér
• Flotační nádrž	• Plnicí stanoviště
• Odvodňovací zařízení	

Obr. 69: Legenda zařízení, které jsou součástí regranulační linky.

## 7.2 Trh s plasty

Největší vliv, ať už pozitivní nebo negativní, na výslednou ekonomickou bilanci tohoto zařízení má cena vstupní a výstupní suroviny. Cena výstupní suroviny v podobě vloček je nižší než v případě pelet, možnost jejich uplatnění je větší a před dalším použitím již není třeba dalších úprav. Výkupní ceny recyklovaného plastu jsou úzce spjaty s cenou typově stejného panenského plastu. Cena panenského plastového materiálu je ovlivněna několika faktory,

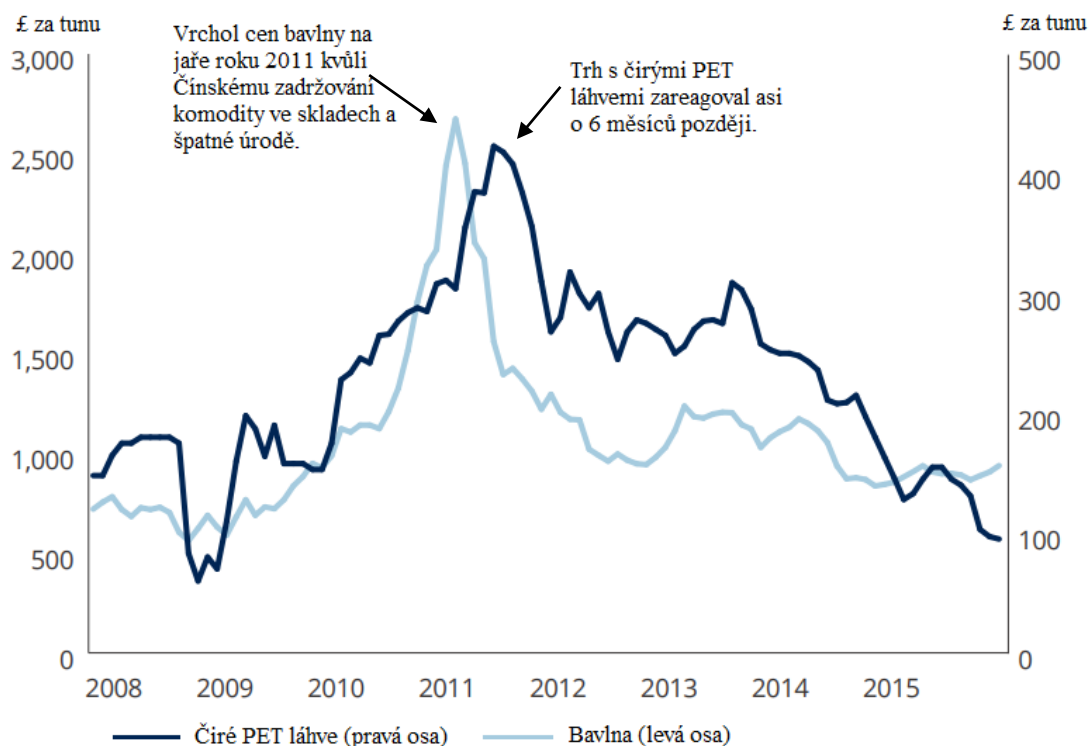
nejvýznamnějším z nich je cena ropy, jelikož z jejich derivátů jsou plasty získávány. Ukázka této závislosti je na Obr. 70, kde lze v grafu vidět, jak cena panenského HDPE kopíruje křivku ceny ropy. Ne vždy je to ale pravidlem, když na začátku roku 2015 razantně poklesla cena ropy, panenské HDPE si neudrželo stejný trend a jeho hodnota natolik neklesla. Důvodem byl výpadek v produkci panenského HDPE v některých výrobních závodech, navíc v přístavech západního pobřeží USA ve stejném období probíhaly stávky ovlivňující dodávky plastového odpadu do Asie. Výsledkem byl nedostatek HDPE na trhu a jeho cena tak neměla stejný trend jako cena ropy. Je tedy zřejmé, že faktorů, které ovlivňují cenu plastu, je hned několik a není jednoduché předpovídat vývoj trhu. [67]



Obr. 70: Vyjádření závislosti ceny panenského HDPE a čirých HDPE láhví na ropě. [67]

Mezi další faktory ovlivňující cenu panenských plastů patří ceny energií, ceny přísad zlepšující vlastnosti, jejich poptávka, cena náhražek jako je papír nebo dřevo, popřípadě cena bavlny (platí pouze pro PET). Závislost ceny PET na ceně a produkci bavlny je zobrazena na Obr. 71 a je názornou ukázkou, co vše ovlivňuje cenu plastů. Důvodem této závislosti je náhrada bavlny PET materiálem v období, kdy cena bavlny vzroste natolik, že se producentům textilu výroba nevyplatí. Na grafu lze pozorovat několikanásobný nárůst ceny v období od roku 2009 do roku 2011, kdy cena dosáhla maxima. Důvodem vzrůstu bylo špatné počasí v místech produkce bavlny a také cílené zadržování bavlny na Čínském trhu. Po nahrazení bavlny polyesterem a uvolnění Čínských zásob klesla cena za bavlnu o více než dvě třetiny. Uvádí se, že celkově až 70 % recyklovaných PET láhví se spotřebuje k produkci polyesterových vláken. [67]





Obr. 71: Porovnání závislosti ceny PET láhví na pohybu ceny bavlny. [67]

Výsledná cena recyklovaných plastů závisí na efektivitě celého řetězce při přepracování původně odpadního materiálu na druhotně využitelnou složku. Klíčovými jsou náklady na sběr, roztřídění a následné přepracování, velký vliv má i relativně nízká tržní hodnota související s neustálým vývojem trhu a nejistotou odběru druhotně využitelných materiálů. Výrobci často upřednostňují čistý nový plast z důvodu konzistentní zaručené kvality a jistotě dodávek. Řetězec recyklace je často zdoluhavý a při srovnání s rychlou a levnou výrobou panenského plastu se ukazuje, že recyklace je v komerčním měřítku ekonomicky nerentabilní a nepraktická. [67]



Obr. 72: Hlavní faktory ovlivňující cenu recyklovaných plastů.

Nicméně v posledních letech se pomalu navyšuje poptávka po recyklovaném plastu, důvodem je jednak sílící tlak společnosti na znovuvyužití plastového odpadu, ale i závazky jednotlivých zemí pro splnění plánů odpadového hospodářství. Do panenského plastu se často přidává určité procento recyklovaného materiálu v přesně daném poměru, aby si výrobek udržel požadovanou kvalitu. S technologickým zlepšením v oblasti vytlačování a tváření plastů je možné očekávat postupné navyšování poměru recyklované složky a tím pádem i zvýšení poptávky po recyklovaných plastech. [67]

Na základě průzkumu trhu s plasty byly navrženy tři různé scénáře (minimální, maximální a průměrná cena) výkupních cen výstupních využitelných komodit z recyklační linky dle zdroje [68], vše je přehledně shrnuto v Tab. 18.

Tab. 18: Výkupní ceny výstupních surovin linky. [68]

Výkupní ceny (červenec 2019)	Vločky			Pelety		
	Min	Max	ø	Min	Max	ø
Druh plastu	Kč/kg	Kč/kg	Kč/kg	Kč/kg	Kč/kg	Kč/kg
PET – čirý	22,38 Kč	28,49 Kč	<b>25,43 Kč</b>	34,59 Kč	38,66 Kč	<b>36,62 Kč</b>
PET – mix	14,24 Kč	18,31 Kč	<b>16,28 Kč</b>	16,79 Kč	20,86 Kč	<b>18,82 Kč</b>
PP – průmyslový	15,77 Kč	17,80 Kč	<b>16,79 Kč</b>	22,89 Kč	24,92 Kč	<b>23,91 Kč</b>
HDPE – čirý	25,94 Kč	27,98 Kč	<b>26,96 Kč</b>	37,64 Kč	39,68 Kč	<b>38,66 Kč</b>
HDPE – mix	18,31 Kč	20,35 Kč	<b>19,33 Kč</b>	22,38 Kč	25,94 Kč	<b>24,16 Kč</b>
LDPE – čirý	11,70 Kč	13,23 Kč	<b>12,46 Kč</b>	18,82 Kč	21,36 Kč	<b>20,09 Kč</b>
LDPE – mix	8,65 Kč	10,68 Kč	<b>9,66 Kč</b>	17,80 Kč	19,84 Kč	<b>18,82 Kč</b>
ABS – mix	22,89 Kč	24,92 Kč	<b>23,91 Kč</b>	38,15 Kč	40,19 Kč	<b>39,17 Kč</b>
PS – krystalický	17,29 Kč	20,35 Kč	<b>18,82 Kč</b>	25,94 Kč	28,99 Kč	<b>27,47 Kč</b>
PS – průmyslový	9,66 Kč	12,21 Kč	<b>10,94 Kč</b>	27,47 Kč	35,61 Kč	<b>31,54 Kč</b>

### 7.2.1 Role Číny na trhu s plasty

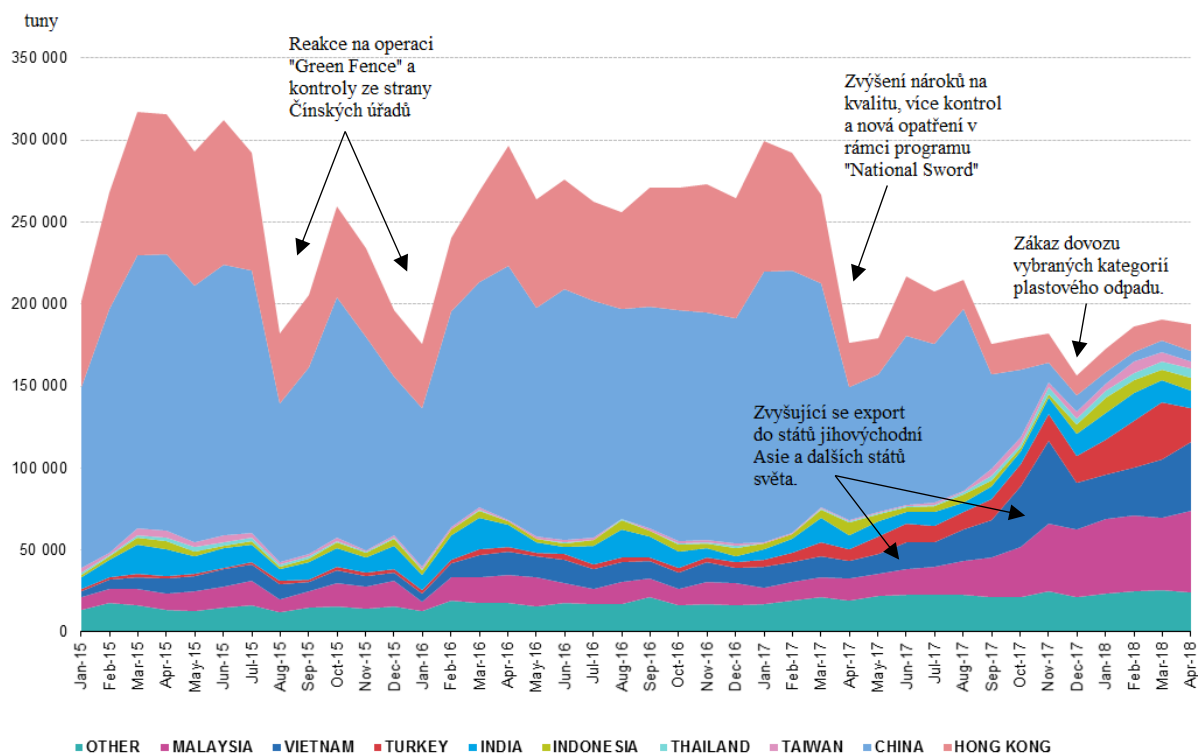
Čína ještě do nedávné doby byla největším importérem plastového odpadu na světě. V místních přístavech končily až dvě třetiny celosvětového množství plastového odpadu určeného k exportu. Neexistovaly žádné předpisy na kvalitu dodávaného materiálu a do Číny se tak dostával především plastový odpad, který se v zemích původu nevyplatilo zpracovávat. Nejvíce odpadu na tamní trh směřovalo z vyspělých států jako je USA, Japonsko, Austrálie, nebo zemí EU. Díky relativně volné legislativě a levné pracovní síle se takový materiál v Číně stále vyplatilo zpracovat. Je otázka, jaké množství tohoto materiálu se opravdu zpracovalo a jaké množství z něj bylo spáleno nebo uniklo do životního prostředí. [67]

Nicméně v roce 2013 přišel z Číny první impuls ke změně, když vláda zahájila operaci „Green Fence“. Cílem byly častější kontroly kvality importovaného plastového odpadu, inspekce ve zpracovatelských závodech a zamezení úniku odpadu do životního prostředí. [67]

Dalším zlomovým bodem byl březen 2017, kdy byly vládou vydány další restriktce na nekvalitní dovážený odpad a razantně se zvýšil počet kontrol. Výsledkem bylo uzavření několika desítek recyklačních závodů a rozhodnutí o zákazu dovozu některých kategorií plastového spotřebního odpadu od ledna 2018. Posledním krokem bylo zvýšení nároků na kvalitu zbývajících dováženého plastu. Platnost tento zákon nabyl v březnu 2018 a importovaný plastový šrot nesměl obsahovat více než 0,5 % kontaminovaného materiálu. Na Obr. 73 je



názorně vidět, jak se veškeré tyto události odrážejí v importu ze zemí EU. Na veškeré výše zmíněné události export zásadně reagoval. Je bohužel zřejmé, že vývozní společnosti rychle zareagovaly a našly jiný trh, kam mohou plastový odpad nadále vyvážet. Vzrostl tím ale také tlak na otázku nad zpracováním odpadu v místě původu jeho vzniku, ovšem není možné očekávat tak rychlou reakci a skokové navýšení kapacit na recyklaci odpadu v zemích, odkud je odpad momentálně vyvážen. [67]



Obr. 73: Vývoj exportu plastového odpadu určeného k recyklaci do vybraných států z EU v letech 2015 – 2018. [69]

### 7.3 Provozní náklady

Provozní náklady tvoří mzdové, reinvestiční a energetické náklady. V provozu je uvažováno s počtem 8 pracovníků při provozu linky s výstupem v podobě „vloček“. Dva pracovníci zajišťují dodávku materiálu na horizontální dopravník pomocí manipulační techniky, dva pracovníci se pak starají o výstupní materiál z linky. Další dva zajišťují plynulý chod linky a kontrolují jednotlivá zařízení, zda nedochází k úniku materiálu, provozních kapalin nebo kontrolují správný chod strojů. Jeden specializovaný pracovník obsluhuje laboratoř a kontroluje kvalitu výstupního materiálu a jeden z pracovníků je vedoucí směny. Při chodu linky s výstupem v podobě regranulátu jsou na pracovišti přítomni 3 pracovníci navíc, aby byl zajištěn hladký chod aglomerátoru, extrudéru a peletizéru.

Z hlediska fondu pracovní doby je provoz uvažován ve dvou variantách, jejich parametry jsou shrnuty v Tab. 19.

Tab. 19: Varianty fondu pracovní doby linky.

	Varianta 8 h	Varianta 12 h
Počet pracovních dní	250	
Počet pracovních hodin/směna	8	12
Počet pracovních hodin/rok	2 000	3 000

V nákladech za energie je podstatný rozdíl mezi variantou linky s výstupem v podobě „vloček“ a regranulátu. Regranulační linka má podstatně větší spotřebu elektrické energie, především kvůli použití extrudéru a aglomerátoru, které mají vysoký hodinový příkon. Lehký rozdíl je i ve spotřebě vody, ale tady není rozdíl tak markantní jako v případě spotřeby elektrické energie. Srovnání typů linky ve spotřebě elektrické energie a roční náklady za elektrickou energii jsou shrnuty v Tab. 20.

Tab. 20: Porovnání spotřeby elektrické energie a ročních nákladů na provoz linky.

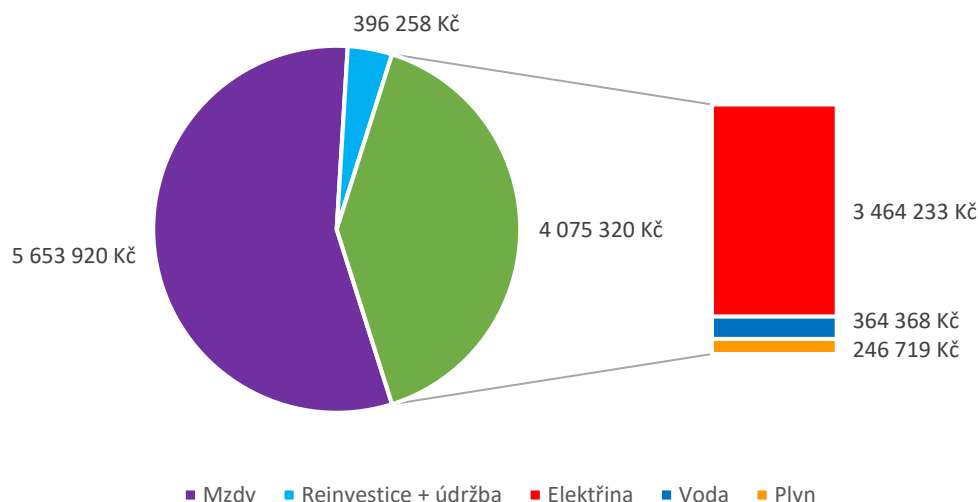
	Linka – „vločky“	Linka – regranulát
Hodinová spotřeba elektrické energie	170,5 kWh	587,5 kWh
Roční náklady za elektrickou energii	1 479 940 Kč	3 447 828 Kč

Na Obr. 74 je shrnutí provozních nákladů linky a jejich základní rozdělení. Reinvestiční náklady jsou vypočítány jako část z počáteční investice, v modelu je možnost měnit jejich výši a při celkovém zhodnocení provozu zařízení je uvažováno postupné zvyšování reinvestičních nákladů.

Energie	Mzdy	Reinvestice
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektřina - technologie linky, osvětlení, ostatní</li> <li>• Voda - technologie linky, sociální zázemí</li> <li>• Plyn - tepelné čerpadla, vytápění</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mzdové náklady zaměstnanců</li> <li>• Řadový pracovník</li> <li>• Pracovník laboratoře</li> <li>• Vedoucí směny</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technologie linky</li> <li>• Manipulační technika</li> <li>• Vybavení haly</li> <li>• Údržba</li> </ul>

Obr. 74: Provozní náklady a jejich konkrétní příklady.

Na Obr. 75 je ukázka rozložení provozních nákladů v prvním roce fungování regranulační linky. Nastavení linky je shodné se scénářem č. 1 v kapitole 8.1.1. Největší finanční zatížení připadá na mzdy zaměstnanců, z energií připadá velká část nákladů na elektrickou energii. Plyn je v objektu využíván k provozu dvou plynových tepelných čerpadel, která v zimním období zajišťují vytápění objektu, v letním období naopak fungují jako klimatizační zařízení. Tepelná čerpadla jsou navíc používána jako zdroj teplé vody, která je využívána při praní a čištění plastového materiálu. Při provozu části linky s extrudérem je předpokládáno s uvolňujícím se teplem z tohoto zařízení, které v zimním období sníží potřebu vytápění objektu. V modelu není z tohoto důvodu počítáno s fungováním tepelných čerpadel po celou dobu pracovního fondu linky. V objektu jsou nainstalovány také teplovzdušné plynové agregáty pro zajištění vytápění po dobu extrémně studených zimních dnů, s jejich zapojením je počítáno po dobu asi 20 dní v roce.



Obr. 75: Provozní náklady a jejich složení v prvním roce provozu regranulační linky.

## 7.4 Materiálová bilance

Jedním z nejdůležitějších kroků bylo vytvoření materiálové bilance linky. Množství výstupního materiálu, který je následně jako druhotně využitelná surovina prodán k dalšímu využití, je jediným zdrojem příjmů a správné vytvoření materiálového toku je zásadní pro výsledky modelu.

Dle materiálů poskytnutých vedoucím práce byla určena základní hodinová kapacita linky. V případě linky s výstupem ve formě „vloček“ je maximální hodinová kapacita **500 kg/h**. V případě varianty regranulační linky jsou „vločky“ shromažďovány v zásobníku silu a teprve až dojde k potřebnému nashromáždění materiálu, je spuštěna další část linky, kde se materiál zpracuje na regranulát. Tato část linky má vyšší hodinovou kapacitu, proto je využito zásobního silu, aby část linky zpracující „vločky“ do formy pelet nebyla v provozu naprázdno. Maximální hodinová kapacita této části regranulační linky byla dle materiálů poskytnutých vedoucím práce zvolena **800 kg/h**. Z hlediska fondu provozní doby model počítá s neustálým provozem části linky s výstupem ve formě „vloček“, tj. 250 pracovních dní. Pokud následně zvolíme variantu se zpracováním „vloček“ do podoby regranulátu, bylo vypočteno, že druhá část linky by byla v provozu pouze 141 dní z důvodu větší kapacity druhé části linky. V Tab. 21 je zobrazeno výchozí nastavení materiálové bilance. Je možné měnit počet pracovních dní, a jakou část fondu pracovní doby je potřeba věnovat údržbě nebo změně frakce.

Tab. 21: Výchozí nastavení materiálové bilance.

Roční materiálová bilance - Směna 8h						
Fond pracovní doby:	8	hod/den		Max. kapacita linky:	1000000	kg/rok
Pracovní dny:	250	dní	<input type="text"/>		1000	t/rok
Celkem hodin/rok:	2000	hod				
Změna frakce/údržba	1900	hod	95	% <input type="text"/>		

Následně je v modelu simulován tok materiálu linkou s výstupem ve formě „vloček“ přes jednotlivá zařízení, kde na každém ze zařízení dojde ke ztrátám dle vzorce (7.1). Ztráty na jednotlivých zařízeních je možné v modelu jednoduše měnit a jejich velikost závisí na druhu zpracovávaného materiálu a také původu odpadu. Pokud má plastový odpad průmyslový původ,

je možno počítat s menšími ztrátami. Ukázka simulace toku materiálu skrz linku s výstupem ve formě „vloček“ je v Tab. 22, hlavním parametrem, který je zájmový, je výstupní hodinová kapacita linky. Ztráty dosahují v případě čírého PET materiálu 8,8 %.

$$m_{výsz1,X} = m_{h,max} - (z_{drt,X} + z_{flot,X} + z_{dop,X} + z_{ods,X}) \quad (7.1)$$

$m_{výsz1,X}$ .....Výstupní hodinová kapacita linky se započítáním ztrát pro danou frakci  $[\frac{kg}{hod}]$

$m_{h,max}$ .....Hodinová maximální kapacita linky  $[\frac{kg}{hod}]$

$z_{drt,X}$ .....Ztráty na drtiči pro danou frakci  $[\frac{kg}{hod}]$

$z_{flot,X}$ .....Ztráty na flotační nádrži pro danou frakci  $[\frac{kg}{hod}]$

$z_{dop,X}$ .....Ztráty na dopravnících pro danou frakci  $[\frac{kg}{hod}]$

$z_{ods,X}$ .....Ztráty na odstředivce pro danou frakci  $[\frac{kg}{hod}]$

Koeficient X nahrazuje v obecném vzorci jednotlivé frakce plastového materiálu.

Tab. 22: Simulace toku materiálu skrz linku s výstupem v podobě „vloček“.

	Vstup	Drtič	Flotační nádrž	Dopravníky	Odstředivka	Výstup	Ztráty	Procento ztrát
Typ plastu	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	%
PET - čirý	500	490	465,5	460,8	456,2	456,2	43,8	8,8

V případě zpracování materiálu až do podoby regranulátu jsou zahrnuty ještě ztráty na dalších zařízeních dle vzorce (7.2). K největším ztrátám dochází v extrudéru, průměrná ztrátovost materiálu má hodnotu 7,3 %. V Tab. 23 je zobrazena simulace toku čírého PET plastu.

$$m_{výsz2,X} = m_{h,max} - (z_{agl,X} + z_{ext,X} + z_{pel,X}) \quad (7.2)$$

$m_{výsz2,X}$ ..... Výstupní hodinová kapacita linky se započítáním ztrát pro danou frakci  $[\frac{kg}{hod}]$

$z_{agl,X}$ ..... Ztráty na aglomerátoru pro danou frakci  $[\frac{kg}{hod}]$

$z_{ext,X}$ ..... Ztráty na extrudéru pro danou frakci  $[\frac{kg}{hod}]$

$z_{pel,X}$ ..... Ztráty na peletizátoru pro danou frakci  $[\frac{kg}{hod}]$

Koeficient X nahrazuje v obecném vzorci jednotlivé frakce plastového materiálu.

Tab. 23: Simulace toku materiálu skrz linku s výstupem v podobě regranulátu.

	Vstup	Aglomerátor	Extrudér	Peletizér	Výstup	Ztráty	Procento ztrát
Typ plastu	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	kg/h	%
PET - čirý	800	792	752,4	744,9	744,9	55,1	6,9

Veškeré další materiálové i finanční toky jsou vztaženy k roku provozu linky. Druhé složení zpracovávaných plastových materiálů je důležitým vstupním parametrem. Jednotlivé druhy se liší v náročnosti zpracování, jejich teploty tavení jsou rozdílné a z hlediska finančního hlediska je nejvíce sledovaným parametrem jejich nákupní a výkupní cena. Veškeré tyto

parametry mají vliv na rozhodnutí, který materiál se investor recyklační linky rozhodne zpracovávat. V modelu je z tohoto důvodu možné z nabídky materiálů zvolit ty, které chceme zpracovávat a následně zvolit i jak velká část z fondu pracovní doby linky bude zvolenému materiálu věnována. Příklad nastavení modelu je v Tab. 24, v levé části tabulky je nabídka možných zpracovávaných materiálů. Zvýrazněn je sloupec s volbou, kolik procent času z celkové doby provozu linky bude jednotlivým frakcím věnováno. Dále už je roční materiálová bilance počítána dle vzorce (7.3).

$$m_{vstup,X} = m_{h,max} * t_{rok} * \frac{w_{údržba}}{100} * w_X \quad (7.3)$$

$m_{vstup,X}$ .....Roční vstupní množství dané frakce do linky [ $\frac{kg}{rok}$ ]

$m_{h,max}$ .....Hodinová maximální kapacita linky [ $\frac{kg}{hod}$ ]

$t_{rok}$ .....Roční fond pracovní doby linky [ $\frac{hod}{rok}$ ]

$\frac{w_{údržba}}{100}$ .....Část pracovní doby linky vyhrazená údržbě nebo změně frakce vyjádřená v procentech [%]

$w_X$ .....Část z fondu pracovní doby linky určená ke zpracování dané frakce vyjádřená v procentech [%]

*Koeficient X nahrazuje v obecném vzorci jednotlivé frakce plastového materiálu.*

Pomocí vzorce (7.3) získáme roční množství vstupního materiálu každé z frakcí, pro získání výstupního množství materiálu je vzorec identický, až na hodinovou kapacitu, ve které jsou v tomto případě započítány ztráty na každém ze zařízení, vzorec (7.4). Získáme tak i informace o množství materiálu, který je z toku materiálu odseparován, v Tab. 24 sloupec ztráty. Následně je tento zbytkový materiál shromažďován, aby byl následně dopraven ke zpracování do zařízení ZEVO.

$$m_{výstup,X} = m_{výsz1,X} * t_{rok} * \frac{w_{údržba}}{100} * w_X \quad (7.4)$$

$m_{výstup,X}$ .....Roční výstupní uplatnitelné množství dané frakce z linky [ $\frac{kg}{rok}$ ]

*Tab. 24: Roční materiálová bilance linky s výstupem v podobě „vloček“.*

	Fond pracovní doby	Vstup		Výstup		Ztráty
Typ plastu	%	kg/rok	t/rok	kg/rok	t/rok	t/rok
PET - čirý	20%	190 000	190	173 370	173,4	16,6
PET - mix	5%	47 500	47,5	43 342	43,3	4,2
PP - průmyslový	20%	190 000	190	178 826	178,8	11,2
HDPE - čirý	13%	123 500	123,5	112 715	112,7	10,8
HDPE - mix	8%	76 000	76	68 640	68,6	7,4
LDPE - čirý	13%	123 500	123,5	111 541	111,5	12,0
LDPE - mix	10%	95 000	95	85 800	85,8	9,2
ABS - mix	2%	19 000	19	17 341	17,3	1,7
PS - krystalický	4%	38 000	38	34 320	34,3	3,7
PS - průmyslový	5%	47 500	47,5	44 255	44,3	3,2
Celkem:	100%	950 000	950	870 150	870,2	79,8

Pro získání ročního množství regranulátu je použit totožný postup jako v případě linky s výstupem ve formě „vloček“.

## 7.5 Ekonomické vyhodnocení provozu

Hotová materiálová bilance je základem pro finanční vyhodnocení provozu. Lze vyhodnotit zisky z prodeje jednotlivých zpracovávaných frakcí, popřípadě zjistit ziskovost jednotlivých frakcí. Dále nás zajímá celková návratnost investice, roční zisk nebo zisk na konci životnosti provozu. Na základě těchto informací může provozovatel upravit druhovou skladbu přijímaného plastu, aby bylo dosaženo lepších finančních výsledků. K vypracování finanční analýzy bylo zapotřebí spočítat poměrné finanční náklady a příjmy ke každé ze zpracovávaných frakcí dle vzorců (7.5),(7.6),(7.7),(7.8) a (7.9). Poměrné náklady a příjmy jsou rozděleny následně a vztahují se vždy k jednomu roku provozu linky:

- **Poměrné mzdové náklady**

$$PN_{mzdy} = t_{rok} * (z_{ved} * p_{ved} + z_{lab} * p_{lab} + z_{nor} * p_{nor}) * w_X \quad (7.5)$$

$z_{ved}$ .....Počet vedoucích pracovníků [ks]

$p_{ved}$ .....Hodinový plat vedoucího pracovníka [ $\frac{Kč}{hod}$ ]

$z_{lab}$ .....Počet pracovníků laboratoře [ks]

$p_{lab}$ .....Hodinový plat laboratorního pracovníka [ $\frac{Kč}{hod}$ ]

$z_{nor}$ .....Počet ostatních zaměstnanců [ks]

$p_{nor}$ .....Hodinový plat ostatních zaměstnanců [ $\frac{Kč}{hod}$ ]

- **Poměrné provozní náklady**

$$PN_{prov} = (t_{rok} * el_{hod} * el_c + t_{rok} * vd_{hod} * vd_c + vyt_r) * w_X \quad (7.6)$$

$el_{hod}$ .....Hodinová spotřeba elektrické energie provozu [kWh]

$el_c$ .....Cena za 1 kWh elektrické energie [Kč]

$vd_{hod}$ .....Hodinová spotřeba vody provozu [m<sup>3</sup>]

$vd_c$ .....Cena za 1 m<sup>3</sup> vody [Kč]

$vyt_r$ .....Roční náklady za vytápění objektu [Kč]

- **Poměrné reinvestiční náklady**

$$PN_{rein} = \frac{inv_{celk}}{t_{živ}} * w_{rein} * w_X \quad (7.7)$$

$inv_{celk}$ .....Celková počáteční investice [Kč]

$t_{živ}$ .....Životnost linky [roky]

$w_{rein}$ .....Procentuální hodnota reinvestice z počátečních investice [%]

- **Poměrné investiční náklady**

$$PN_{inv} = \frac{inv_{celk}}{t_{živ}} * w_X \quad (7.8)$$



- **Poměrné náklady za nákup vstupní frakce**

$$PN_{\text{nákup}} = m_{\text{vstup},X} * p_{\text{nákup},X}$$

$$p_{\text{nákup},X} \dots \dots \text{Nákupní cena vstupní dané frakce } \left[ \frac{\text{Kč}}{\text{kg}} \right]$$

- **Poměrné příjmy za prodej výstupní frakce**

$$PN_{\text{prodej}} = m_{\text{výstup},X} * p_{\text{prodej},X} \quad (7.9)$$

$$p_{\text{prodej},X} \dots \dots \text{Prodejní cena výstupní dané frakce } \left[ \frac{\text{Kč}}{\text{kg}} \right]$$

V modelu lze porovnávat veškeré výše uvedené parametry v jednotlivých rocích provozu, na Obr. 76 je ukázka výpočtu poměrných nákladů, měnitelné parametry jsou zde zvýrazněny žlutou barvou. Je zde možnost zvolit si konkrétní rok provozu, nebo zda chceme do výsledků započítat vliv počáteční investice. Tato možnost nám umožňuje pozorovat změny v nákladech a příjmech dle nastavení meziročních změn u jednotlivých položek. Model umožňuje i náhled na výstup poměrných nákladů a příjmů z průměrných hodnot za dobu životnosti linky. Dalším důležitým výstupem je ziskovost jednotlivých frakcí při zatížení poměrnými náklady, značný vliv na výsledek má započítání počáteční investice do výpočtů, proto je tato možnost volitelná. Výsledný zisk dle jednotlivých frakcí zatížený poměrnými náklady pak výrazně ovlivňuje výběr zpracovávaných druhů plastů.

POMĚRNÉ ROČNÍ NÁKLADY A PŘÍJMY									
Vliv počáteční investice		S poč. investicí							
Rok provozu	1	Mzdové	Provozní	Reinvestiční	Investiční	Nákup frakcí	Prodej frakcí	Zisk	
Druh plastu	Zastoupení	4 740 000 Kč	2 053 064 Kč	282 829 Kč	3 535 357 Kč	4 151 500 Kč	16 246 094 Kč	1 483 344 Kč	Zisk/tuna
PET - čirý	20%	948 000 Kč	410 613 Kč	56 566 Kč	707 071 Kč	2 090 000 Kč	4 409 425 Kč	197 176 Kč	1 038 Kč
PET - mix	5%	237 000 Kč	102 653 Kč	14 141 Kč	176 768 Kč	308 750 Kč	705 508 Kč	-133 804 Kč	-2 817 Kč
PP - průmyslový	20%	948 000 Kč	410 613 Kč	56 566 Kč	707 071 Kč	665 000 Kč	3 001 810 Kč	214 560 Kč	1 129 Kč
HDPE - čirý	13%	616 200 Kč	266 898 Kč	36 768 Kč	459 596 Kč	308 750 Kč	3 038 747 Kč	1 350 534 Kč	10 936 Kč
HDPE - mix	8%	379 200 Kč	164 245 Kč	22 626 Kč	282 829 Kč	152 000 Kč	1 326 787 Kč	325 887 Kč	4 288 Kč
LDPE - čirý	13%	616 200 Kč	266 898 Kč	36 768 Kč	459 596 Kč	247 000 Kč	1 390 071 Kč	-236 391 Kč	-1 914 Kč
LDPE - mix	10%	474 000 Kč	205 306 Kč	28 283 Kč	353 536 Kč	95 000 Kč	829 242 Kč	-326 883 Kč	-3 441 Kč
ABS - mix	2%	94 800 Kč	41 061 Kč	5 657 Kč	70 707 Kč	47 500 Kč	414 575 Kč	154 850 Kč	8 150 Kč
PS - krystalický	4%	189 600 Kč	82 123 Kč	11 313 Kč	141 414 Kč	95 000 Kč	645 936 Kč	126 486 Kč	3 329 Kč
PS - průmyslový	5%	237 000 Kč	102 653 Kč	14 141 Kč	176 768 Kč	142 500 Kč	483 992 Kč	-189 070 Kč	-3 980 Kč

Obr. 76: Poměrné roční náklady a příjmy přepočítané na jednotlivé frakce.

Zisky v daném roce provozu linky jsou spočítány pomocí rozdílu celkových nákladů a příjmů v daném období (cashflow), kde do nákladů je zahrnuta i poměrná část počátečních investičních nákladů. K získání zisků za celou dobu životnosti linky je využit kumulovaný cashflow, který k aktuálnímu roku přičítá veškeré dřívější náklady a zisky. První rok, kdy se kumulovaný cashflow dostane do kladných čísel, se označuje jako rok navrácení investice.

$$Cf_{\text{rok}} = Z_p - (N_{\text{mzdy}} + N_{\text{prov}} + N_{\text{rein}} + N_{\text{nák}}) \quad (7.10)$$

$Cf_{\text{rok}} \dots \dots$  Cashflow za daný rok [Kč]

$Z_p \dots \dots \dots$  Roční příjmy z prodeje výstupních frakcí [Kč]

$N_{\text{mzdy}} \dots \dots$  Roční mzdové náklady [Kč]

$N_{\text{prov}} \dots \dots$  Roční provozní náklady [Kč]

$N_{rein}$ .....Roční reinvestiční náklady [Kč]

$N_{nák}$ .....Roční náklady na nákup vstupní frakce [Kč]

$$Cf_{kum} = Cf_{kum-1} + Cf_{rok}$$

$Cf_{kum}$ .....Kumulovaný cashflow za daný rok [Kč]

$Cf_{kum-1}$ ....Kumulovaný cashflow v předchozím roce, v nultém roce má hodnotu počáteční investice [Kč]

## 8 VÝSLEDKY TECHNICKO - EKONOMICKÉHO MODELU

V následujících kapitolách jsou porovnány výsledky TE modelu pro různá nastavení a citlivostní analýzy. Změna nastavení vstupních parametrů má vliv na výsledné finanční výsledky provozu linky a dle měněných parametrů je můžeme rozdělit na následovně:

- Linka s výstupem v podobě „vloček“ a s výstupem v podobě regranulátu
- Provoz při délce směny 8 hodin nebo 12 hodin
- Vliv započítání počáteční investice – dotační program
- Meziroční změna růstu nákladů a příjmů
- Změna výkupních cen výstupních surovin
- Druhé složení zpracovávaného materiálu
- Nalezení „break pointu“ pro jednotlivé druhy plastů

Sledované parametry jsou shrnuty Tab. 25, nejdůležitější z nich jsou zvýrazněny. Při porovnání linky s výstupem v podobě „vloček“ a regranulátu je nastavení u obou variant shodné, rozdíl je tedy především ve výkupní ceně výstupní suroviny a množství zpracovaného materiálu. U dalších citlivostních analýz je vždy scénář č. 1 (případně scénář „X“) shodný se scénářem pro regranulační linku u porovnání variant linky s výstupem v podobě „vloček“ nebo granulátu. Scénář č. 1 tak slouží jako referenční, další dva scénáře reflektují růst, případně pokles daných měněných parametrů a vliv této změny na celkové výsledky.

Tab. 25: Shrnutí sledovaných výstupů modelu.

Materiálové výstupy	Finanční výstupy	Ostatní
<ul style="list-style-type: none"><li>•Roční množství zpracovaného materiálu</li><li>•Roční množství prodejných frakcí</li><li>•Roční množství zbytkového materiálu</li><li>•Analýza materiálových toků jednotlivých druhů plastů</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Zisk na konci životnosti</li><li>•Průměrné roční náklady</li><li>•Průměrné roční výnosy</li><li>•Průměrný roční zisk</li><li>•Průměrné roční náklady, výnosy a zisky vztažené k 1 tuně zpracovaného materiálu</li><li>•Průměrné roční zisky z jednotlivých druhů plastu</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Doba návratnosti investice</li><li>•Fond pracovní doby linky</li><li>•Volba délky směny</li></ul>

### 8.1 Porovnání linky s výstupem v podobě „vloček“ a regranulátu

Hlavním cílem vytvoření modelu bylo porovnání provozu linky s výstupem ve formě „vloček“ a výstupem ve formě regranulátu. Regranulační linka má vyšší pořizovací i provozní

výdaje, ovšem granule mají větší uplatnění na trhu a jejich výkupní cena je vyšší. Nastavení modelu je pro obě varianty stejné, jsou zastoupeny veškeré uvažované druhy plastových materiálů a procento doby věnované zpracování každému z nich je uvedeno v Tab. 26. V druhé části Tab. 26 je shrnutí výkupních cen výstupních surovin, jsou použity průměrné ceny za měsíc červenec 2019 dle [68]. Pro srovnání rozdílu výkupních cen „vloček“ a regranulátu je použit výpočet pomocí mediánu, v tomto případě je jeho využití vhodnější, jelikož eliminuje ovlivnění výsledků krajními extrémními hodnotami.

Tab. 26: Nastavení složení vstupního materiálu a výkupních cen vloček a regranulátu. [68]

				Vločky	Pelety
Zvolené nastavení	Scénář 1	Zpracování frakce	Zvolený scénář dle výkupní ceny:	Scénář A	Scénář X
PET - čirý	19%	ano	PET - čirý	25,43 Kč	36,62 Kč
PET - mix	6%	ano	PET - mix	16,28 Kč	18,82 Kč
PP - průmyslový	19%	ano	PP - průmyslový	16,79 Kč	23,91 Kč
HDPE - čirý	14%	ano	HDPE - čirý	26,96 Kč	38,66 Kč
HDPE - mix	8%	ano	HDPE - mix	19,33 Kč	24,16 Kč
LDPE - čirý	13%	ano	LDPE - čirý	12,46 Kč	20,09 Kč
LDPE - mix	10%	ano	LDPE - mix	9,66 Kč	18,82 Kč
ABS - mix	2%	ano	ABS - mix	23,91 Kč	39,17 Kč
PS - krystalický	4%	ano	PS - krystalický	18,82 Kč	27,47 Kč
PS - průmyslový	5%	ano	PS - průmyslový	10,94 Kč	31,54 Kč
<b>Celkem</b>	<b>100 %</b>	<b>10</b>	<b>Medián:</b>	<b>17,80 Kč</b>	<b>25,82 Kč</b>

Hlavní výstupní parametry a jejich srovnání je v Tab. 27. Z hlediska materiálové bilance je roční množství vstupujícího materiálu u obou typů linek stejný, jelikož u obou variant je první část linky totožná. Rozdíl nastává v množství materiálu, který je následně možné prodat. U linky s výstupem ve formě „vloček“ je toto množství ročně v průměru o 64 tun větší, je to způsobeno ztrátami na zařízeních v regranulační části linky, kdy dochází k přepracování „vloček“ do formy regranulátu.

Z hlediska fondu pracovní doby linky je v případě regranulační linky uvedena v Tab. 27 dvojí hodnota z důvodu rozdílné hodinové kapacity jednotlivých částí linky. Z výsledků je zřejmé, že v době návratnosti není mezi jednotlivými variantami linky podstatný rozdíl, regranulační linka vychází v tomto ohledu o rok lépe, konkrétně se počáteční investice do této varianty linky navrátí v sedmém roku provozu.

Podstatná je výše zisku na konci životnosti linky, v tomto hledisku vychází lépe varianta linky s výstupem ve formě regranulátu, a to i přes vyšší počáteční investici a vyšší provozní náklady.

Tab. 27: Hlavní výstupy modelu, srovnání linky s výstupem ve formě „vloček“ a regranulátu.

HLAVNÍ SLEDOVANÉ VÝSTUPNÍ PARAMETRY			
Materiálové výstupy	Linka - "vločky"	Linka - regranulát	Jednotka
Množství zpracovaného materiálu	950		t/rok
Množství prodejných frakcí	870	806	t/rok
Zbytkový materiál	80	144	t/rok
Ostatní výstupy			
Fond pracovní doby linky	2 000	2 000/1 088 <sup>4</sup>	hodin/rok
Směna	8		hodin
Finanční výstupy			
Doba návratnosti investice	8	7	rok
Zisk na konci životnosti	12 713 479	31 351 232	Kč
Průměrné roční náklady	15 730 149	20 441 457	Kč/rok
Konkrétně:			
Mzdy	5 433 879	6 481 586	Kč/rok
Provoz	2 147 959	4 263 265	Kč/rok
Reinvestice	324 231	454 265	Kč/rok
Počáteční investice	3 535 357	4 953 224	Kč/rok
Nákup vstupní frakce	4 288 722	4 288 722	Kč/rok
Průměrné roční výnosy z prodeje frakcí	17 001 497	22 576 580	Kč/rok
Průměrný roční zisk	1 271 348	3 135 123	Kč/rok
Vztaženo k 1 tuně zpracovaného materiálu			
Průměrné roční náklady	16 558	21 517	Kč/rok/tuna
Průměrný roční výnos	17 896	24 817	Kč/rok/tuna
Průměrný roční zisk	1 338	3 300	Kč/rok/tuna

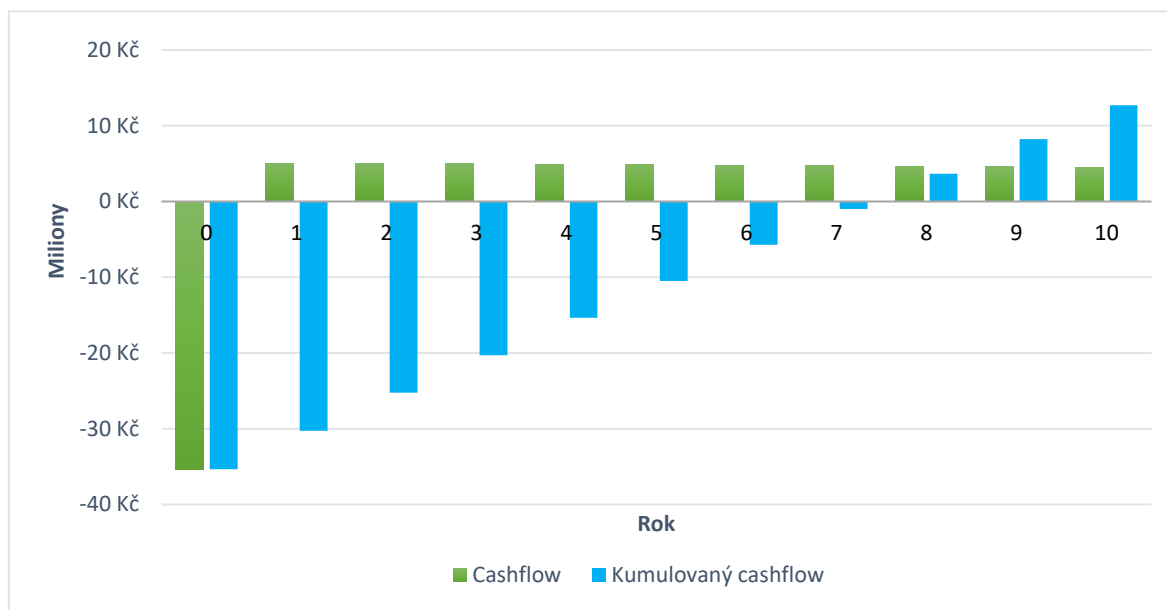
Z hlediska materiálové bilance je možné v modelu vyhodnotit i detailní výsledky ročního množství zpracovaného materiálu každé z frakcí, její shrnutí je v Tab. 28.

Tab. 28: Detailní roční materiálová bilance každé ze zpracovávaných frakcí.

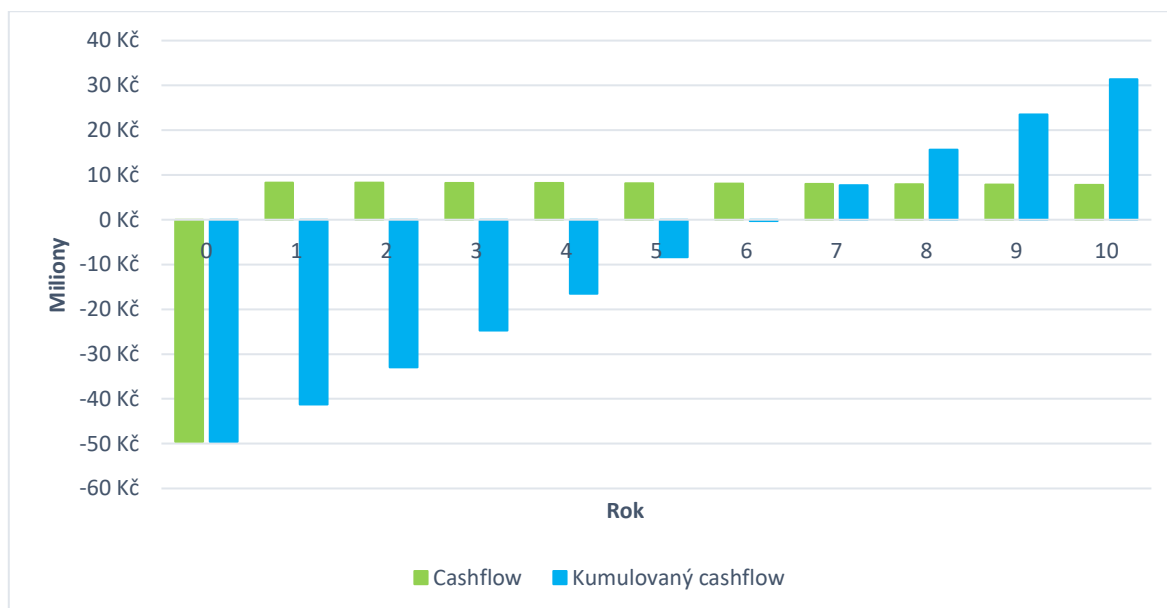
Druh plastu	Množství zpracovaného materiálu		Množství prodejného materiálu		Množství zbytkového materiálu		Jednotka
	Vločky	Regranulát	Vločky	Regranulát	Vločky	Regranulát	
PET - čirý	181		165	154	16	27	t/rok
PET - mix	57		52	48	5	9	t/rok
PP - průmyslový	181		170	156	11	25	t/rok
HDPE - čirý	133		121	112	12	21	t/rok
HDPE - mix	76		69	64	7	12	t/rok
LDPE - čirý	124		112	103	12	20	t/rok
LDPE - mix	95		86	79	9	16	t/rok
ABS - mix	19		17	16	2	3	t/rok
PS - krystalický	38		34	32	4	6	t/rok
PS - průmyslový	48		44	41	3	7	t/rok
<b>Celkem</b>	<b>950</b>		<b>870</b>	<b>806</b>	<b>80</b>	<b>144</b>	t/rok

<sup>4</sup> U fondu pracovní doby je v případě regranulační linky uvedena dvojitá hodnota z důvodu větší hodinové zpracovatelské kapacity části linky, kde dochází k přepracování vloček do podoby regranulátu.

Na Obr. 77 a Obr. 78 jsou graficky zobrazeny cashflow a kumulovaný cashflow pro obě varianty linky. I z grafického vyjádření je očividné, že doba návratnosti investice je u obou variant velice podobná. Z této skutečnosti je zřejmé, že regranulační linka dosahuje vyšších ročních zisků, což se nakonec odráží v zisku za celou dobu životnosti linky.



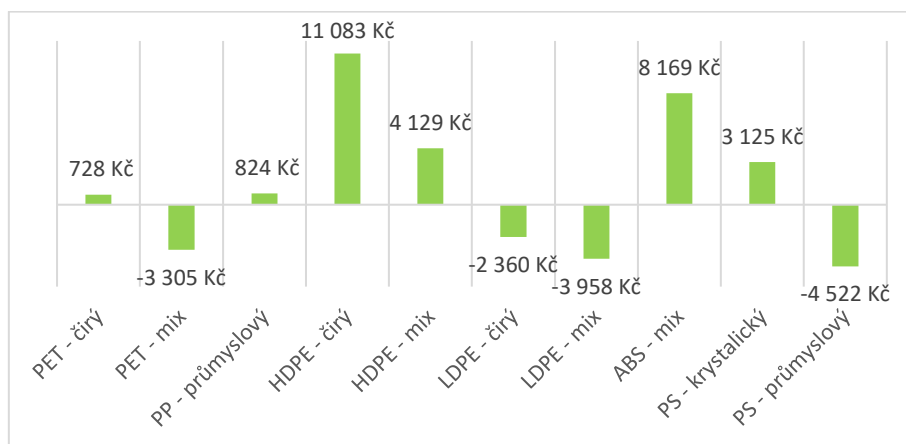
Obr. 77: Návratnost investice při provozu linky s výstupem materiálu ve formě „vloček“.



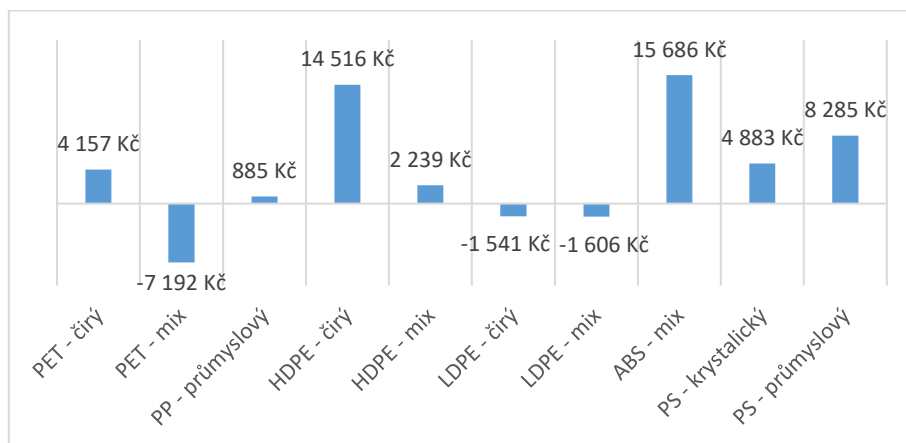
Obr. 78: Návratnost investice při provozu linky s výstupem ve formě granulátu.

Významným výstupem je ziskovost jednotlivých zpracovávaných druhů plastů. Jelikož je v tomto případě uvažováno zpracování všech nabízených typů plastů, je vhodné vytvoření grafu srovnávající zisky každého z nich. Ziskovost je vztažena k 1 tuně zpracovaného materiálu, odlišná doba věnována zpracování každému z typů plastu tedy nemá na výsledky vliv. Výsledné grafy jsou zobrazeny na Obr. 79 pro linku s výstupem ve formě „vloček“ a na Obr. 80 pro regranulační linku. Z výsledků vyplývá, které typy plastů jsou při jejich zpracování ztrátové a které naopak zpracováním až do podoby granulí získají vyšší cenu na trhu

s recyklovaným plastem. U frakcí jako je LDPE (oba zpracovávané typy) nebo PET – mix je dle grafů na Obr. 79 a Obr. 80 zřejmé, že zpracování těchto frakcí se při poměrném zatížení náklady finančně nevyplatí ani v jedné z řešených variant linky (výstup vložky nebo regranulát). Frakce PET – mix představuje v případě modelu barevné PET lahve. Mezi výkupní cenou v podobě „vloček“ a v podobě regranulátu pro PET – mix dle Tab. 26 není velký rozdíl (pouze 2,54 Kč/kg) a jelikož poměrné zatížení náklady je v případě regranulační linky daleko větší, výsledný zisk z této frakce vychází v případě regranulátu hůř. Největší rozdíl mezi ziskovostí dle varianty linky je u průmyslového polystyrenu (PS), v podobě „vloček“ je jeho zpracování vysoce ztrátové, naopak při přepracování až do podoby regranulátu se dostaneme do kladných hodnot.



Obr. 79: Zisk zatížený poměrnými náklady z 1 tuny zpracovaného materiálu (vložky).



Obr. 80: Zisk zatížený poměrnými náklady z 1 tuny zpracovaného materiálu (regranulát).

## 8.2 Citlivostní analýza vybraných parametrů

Pro vybrané vstupní proměnné TE modelu byly provedeny citlivostní analýzy s cílem posoudit vliv jejich změny na výsledky modelu při růstu nebo poklesu jednotlivých vstupních parametrů. Vstupní proměnné byly měněny u následujících parametrů:

- Vliv změny fondu pracovní doby linky
- Vliv započítání počáteční investice – dotační program
- Výkupní cena výstupních surovin linky v podobě „vloček“ nebo regranulátu
- Meziroční změna nákladů a příjmů
- Druhé složení vstupního materiálu



Ostatní vstupní parametry jsou při posuzování výsledků konstantní a základní scénář je shodný s nastavením vstupních parametrů pro regranulační linku v kapitole 8.18.1. Mimo to lze následně podle potřeby mezi sebou nastavení vstupních parametrů nejrůzněji kombinovat, takže model má velké množství možných výstupních scénářů. V následujících analýzách se vždy pracuje pouze se změnou jednoho parametru, aby výsledky nebyly ovlivněny jinými změnami v nastavení modelu.

Porovnávají se vždy 3 možné varianty, první z nich je referenční varianta, shodná s výsledky regranulační linky v kapitole 8.18.1 a další dva scénáře potom simulují růst, případně pokles řešeného parametru, který by se měl následně projevit ve výsledcích. Tyto analýzy jsou důležité z hlediska růstu nebo poklesu výkupních cen na trhu, růst mezd zaměstnanců nebo zvyšujících se provozních nákladů a pomáhají případnému investorovi předpokládat ekonomickou situaci provozu.

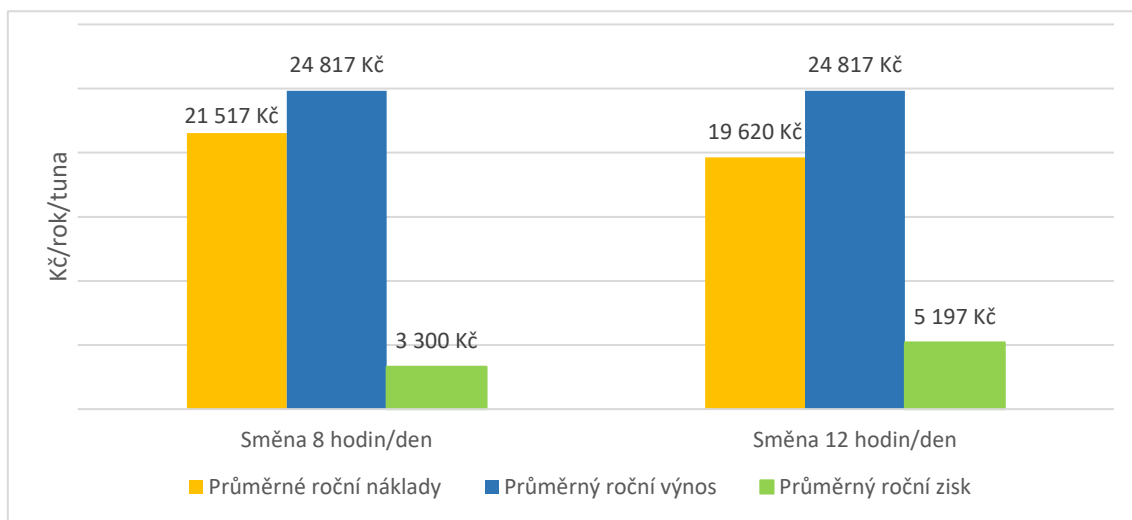
### • Citlivostní analýza změny fondu pracovní doby

Z hlediska fondu pracovní doby jsou v modelu uvažovány dvě možnosti. Provoz může být realizován ve variantě 8 nebo 12 pracovních hodin za směnu. Zvýšením fondu pracovní doby samozřejmě vzrostou provozní a mzdové náklady, linka ale ročně zpracuje více materiálu a tím pádem vygeneruje větší zisk. V Tab. 29 je porovnání z hlediska fondu pracovní doby pro variantu linky s výstupem v podobě regranulátu, nastavení je totožné jako v kapitole 8.18.1, takže výsledky pro 8 hodinovou směnu jsou shodné. Rozdíl v průměrném ročním zisku z 1 tuny zpracovaného materiálu je způsoben dvěma vstupními parametry, které jsou pro obě varianty konstantní. Jde o reinvestiční a investiční náklady, jejich výše není ovlivněná fondem pracovní doby a ve výsledku proto vychází lepší ziskovost pro variantu s 12 hodinovou pracovní dobou.

Tab. 29: Porovnání hlavních sledovaných výstupních parametrů u směny 8 a 12 hodin.

Materiálové výstupy	Směna 8 hodin/den	Směna 12 hodin/den	Jednotka
Množství zpracovaného materiálu	950	1 425	t/rok
Množství prodejných frakcí	806	1 209	t/rok
Zbytkový materiál	144	216	t/rok
Ostatní výstupy			
Fond pracovní doby linky	2 000/1 088	3 000/1 632	hodin/rok
Směna	8	12	hodin
Finanční výstupy			
Doba návratnosti investice	7	4	rok
Zisk na konci životnosti	31 351 232	74 064 295	Kč
Průměrné roční náklady	20 441 457	27 958 440	Kč/rok
<i>Konkrétně:</i>			
<i>Mzdy</i>	6 481 586	9 722 378	Kč/rok
<i>Provoz</i>	4 263 265	6 395 489	Kč/rok
<i>Reinvestice</i>	454 265	454 265	Kč/rok
<i>Počáteční investice</i>	4 953 224	4 953 224	Kč/rok
<i>Nákup vstupní frakce</i>	4 288 722	6 433 084	Kč/rok
Průměrné roční výnosy z prodeje frakcí	22 576 580	35 364 870	Kč/rok
Průměrný roční zisk	3 135 123	7 406 430	Kč/rok
Vztaženo k 1 tuně zpracovaného materiálu			
Průměrné roční náklady	21 517	19 620	Kč/rok/tuna
Průměrný roční výnos	24 817	24 817	Kč/rok/tuna
Průměrný roční zisk	3 300	5 197	Kč/rok/tuna

Na Obr. 81 je porovnání průměrných ročních nákladů a příjmů při uvažování délky směny 8 a 12 hodin/den. Výsledky jsou vztaženy na 1 tunu vstupního zpracovaného materiálu, není tak rozlišena rozdílná ziskovost jednotlivých zpracovávaných frakcí. Rozdílem mezi průměrnými náklady a výnosy je získán průměrný roční zisk ze zpracování 1 tuny materiálu.



*Obr. 81: Porovnání nákladů a příjmů vztažené k 1 tuně zpracovaného materiálu.*

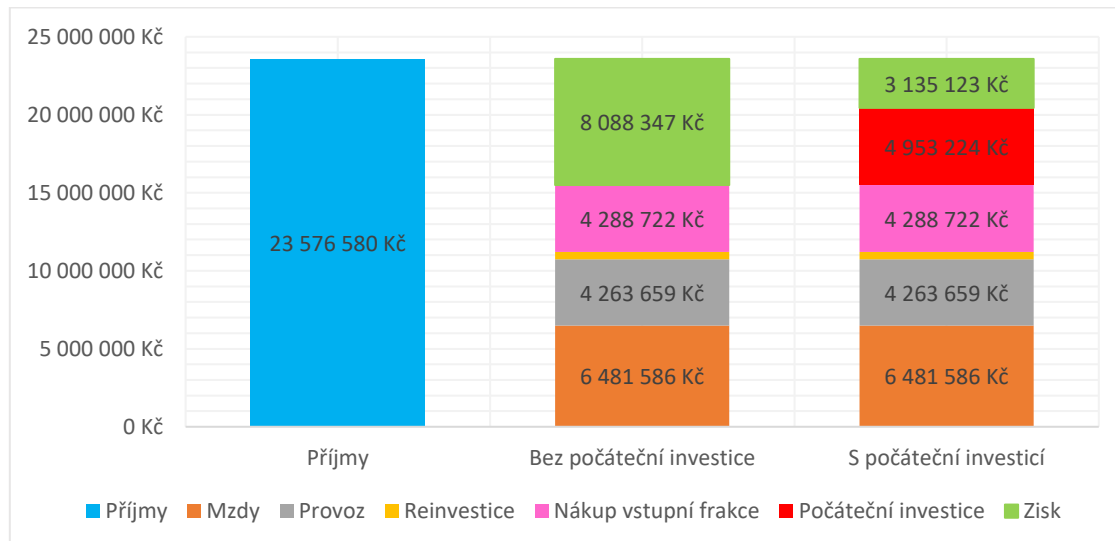
- **Citlivostní analýza vlivu počáteční investice – dotační program**

Při realizaci záměru vybudování recyklačního zařízení lze počítat s určitou formou dotačního programu, proto je v modelu zahrnuta možnost dotování počáteční investice. Je zde na výběr dotace ve výši 25, 50, 75 nebo 100% z celkové počáteční investice. Poslední možnost simuluje i situaci, kdy posuzujeme finanční stránku zařízení pouze z hlediska provozních nákladů a počáteční investice je financována z externích zdrojů nebo dotačním programem. V Tab. 30 je porovnání základních výstupních parametrů, všechny scénáře mají totožné nastavení, liší se pouze ve výši dotace, aby výsledky nebyly ovlivněny jinou změnou vstupních parametrů. Scénář 1 je totožný se scénářem regranulační linky v kapitole 8.1.

Tab. 30: Srovnání základních výstupů při uvažování dotačního programu.

	Scénář 1	Scénář 2	Scénář 3	
	S vlivem počáteční investice – 0 % dotace	Bez vlivu počáteční investice – 100 % dotace	S uvažováním 50 % dotace	Jednotka
Doba návratnosti investice	7	1	3	rok
Zisk na konci životnosti	31 351 232	80 883 473	56 117 352	Kč
Průměrné roční náklady	20 441 457	15 488 233	17 964 845	Kč/rok
Konkrétně:				
Mzdy	6 481 586	6 481 586	6 481 586	Kč/rok
Provoz	4 263 265	4 263 659	4 263 659	Kč/rok
Reinvestice	454 265	454 265	454 265	Kč/rok
Počáteční investice	4 953 224	-	2 476 612	Kč/rok
Nákup vstupní frakce	4 288 722	4 288 722	4 288 722	Kč/rok
Průměrný roční zisk	3 135 123	8 088 347	5 611 735	Kč/rok
<b>Vztaženo k 1 tuně zpracovaného materiálu</b>				
Průměrné roční náklady	21 517	16 303	18 910	Kč/rok/tuna
Průměrné roční výnosy	24 817	24 817	24 817	Kč/rok/tuna
Průměrný roční zisk	3 300	8 514	5 907	Kč/rok/tuna

Na Obr. 82 je porovnání průměrných ročních nákladů a příjmů s výsledným ziskem při započítání počáteční investice a nezapočítání počáteční investice. Vzhledem k poměrně krátké uvažované době životnosti linky mají počáteční investiční náklady velký vliv na finanční výstupy modelu, proto je vhodná volba započítání počáteční investice do výpočtů.



Obr. 82: Graf srovnávající roční náklady a příjmy při započítání/nezapočítání počáteční investice.

### • Citlivostní analýza výkupní ceny „vloček“ a regranulátu

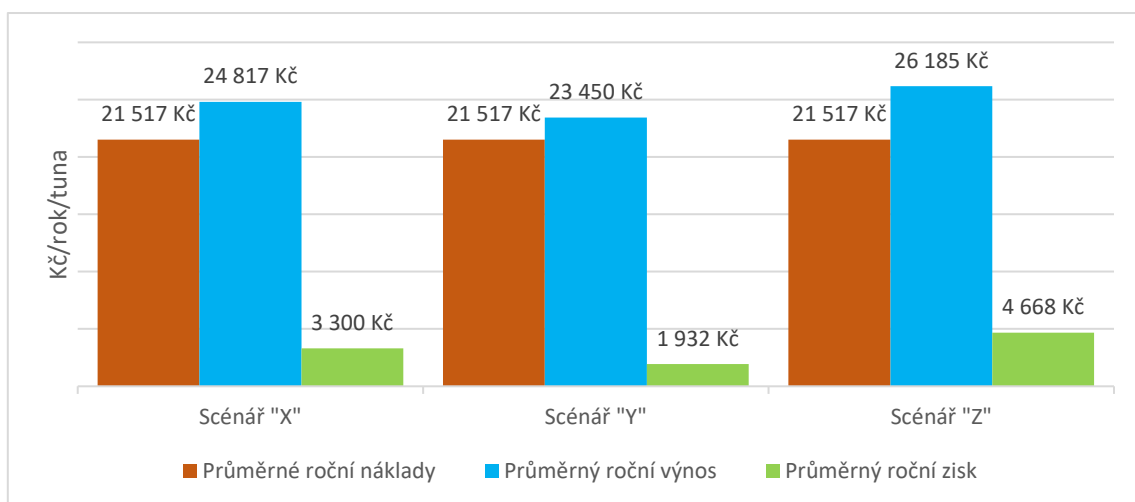
Jelikož jediný příjem zařízení plyne z prodeje regranulátu nebo „vloček“, má výkupní cena jednotlivých frakcí velký vliv na finanční výsledky provozu. Více informací o trhu s plasty a co všechno ovlivňuje výkupní ceny, je v kapitole 7.2. Výkupní ceny jsou převzaty z portálu „Plastic News“ [68], odkud byla cena převedena dle aktuálního kurzu. Ceny jsou zde uvedeny v určitém rozmezí, tím pádem byla určena průměrná cena, která je použita ve variantě „Scénář

X“ a slouží jako referenční. Scénáře „Y“ a „Z“ reflektují maximální a minimální výkupní cenu za jednotlivé frakce dle uvedeného portálu. [68] Toto rozmezí je třeba připisovat různé výkupní ceně dle kvality a aktuální situaci na trhu. Základní výstupní parametry pro citlivostní analýzu cen regranulátu jsou porovnány a shrnuty v Tab. 31.

*Tab. 31: Citlivostní analýza výkupních cen regranulátu.*

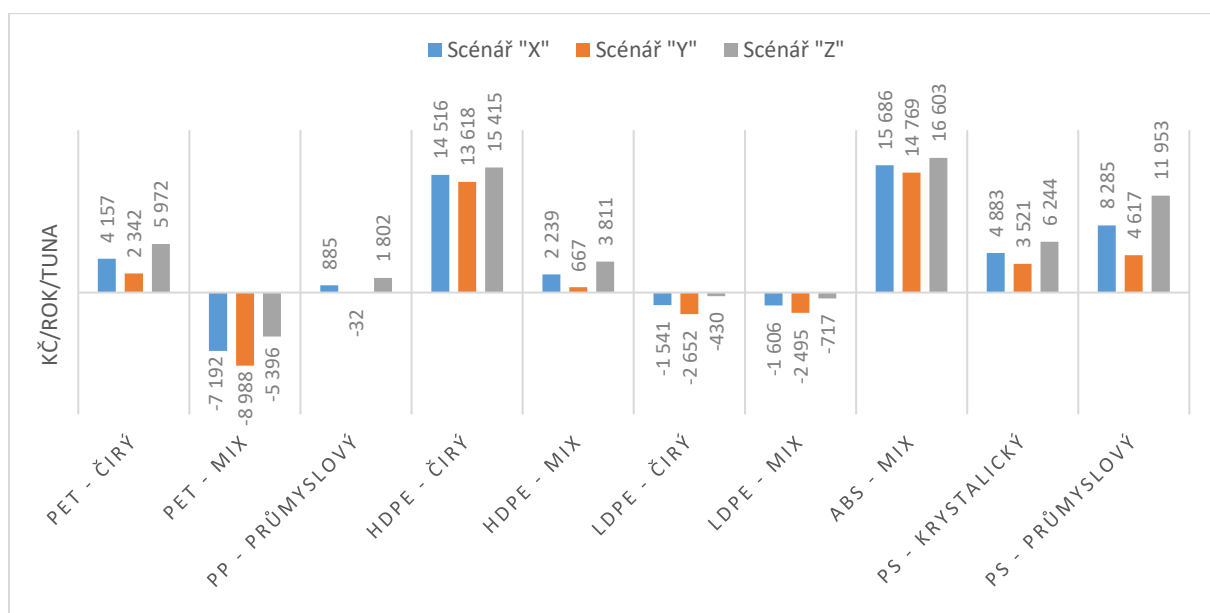
Druh plastu	Scénář X	Scénář Y	Scénář Z	Jednotka
PET - čirý	34,59	38,66	36,62	Kč/kg
PET - mix	16,79	20,86	18,82	Kč/kg
PP - průmyslový	22,89	24,92	23,91	Kč/kg
HDPE - čirý	37,64	39,68	38,66	Kč/kg
HDPE - mix	22,38	25,94	24,16	Kč/kg
LDPE - čirý	18,82	21,36	20,09	Kč/kg
LDPE - mix	17,80	19,84	18,82	Kč/kg
ABS - mix	38,15	40,19	39,17	Kč/kg
PS - krystalický	25,94	28,99	27,47	Kč/kg
PS - průmyslový	27,47	35,61	31,54	Kč/kg
<b>Finanční výstupy</b>				
Doba návratnosti investice	7	8	6	rok
Zisk na konci životnosti	31 351 232	18 356 859	44 345 606	Kč
Průměrné roční náklady	20 441 457	20 441 457	20 441 457	Kč/rok
Průměrné roční výnosy z prodeje frakcí	22 576 580	22 277 142	24 876 017	Kč/rok
Průměrný roční zisk	3 135 123	1 835 686	4 434 561	Kč/rok
<b>Vztaženo k 1 tuně zpracovaného materiálu</b>				
Průměrné roční náklady	21 517	21 517	21 517	Kč/rok/tuna
Průměrný roční výnos	24 817	23 450	26 185	Kč/rok/tuna
Průměrný roční zisk	3 300	1 932	4 668	Kč/rok/tuna

Na Obr. 83 je grafické porovnání jednotlivých scénářů průměrných ročních nákladů a výnosů vztažené k 1 tuně zpracovaného materiálu. Výsledkem je průměrný roční zisk z 1 tuny zpracovaného materiálu dopočítaný jako rozdíl nákladů a výnosů. Rozdíl mezi ziskem z 1 tuny materiálu v případě scénáře „Y“ a scénáře „Z“, u kterých je rozdíl výkupních cen největší, je 2736 Kč. To se odráží i v celkovém zisku na konci uvažované životnosti linky v Tab. 31.



Obr. 83: Porovnání nákladů a příjmů vztahené k 1 tuně zpracovaného materiálu.

Změna výkupní ceny má také vliv na ziskovost jednotlivých plastových frakcí, na Obr. 84 je srovnání jednotlivých scénářů dle průměrného ročního zisku z 1 tuny dané zpracované frakce.



Obr. 84: Porovnání průměrných ročních zisků z 1 tuny materiálu dle zpracovávaných frakcí.

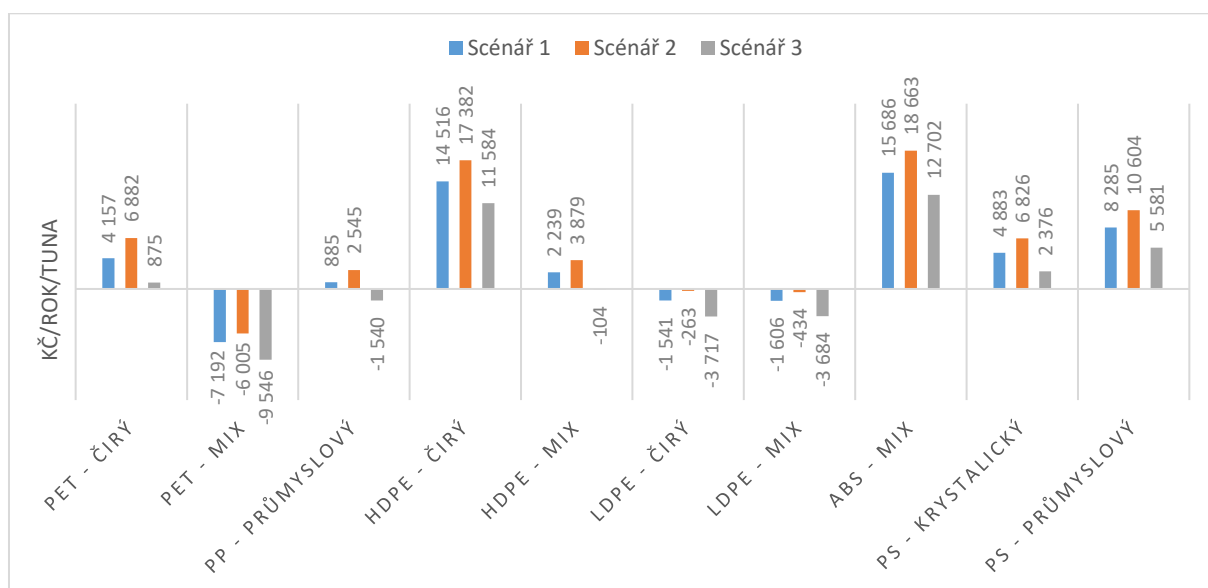
### • Citlivostní analýza meziroční změny u nákladů a příjmů

Nastavení meziročních změn simuluje růst nebo pokles nákladů a příjmů v důsledku inflace, změn velikosti mezd, cen energií, atd. po celou dobu životnosti linky. Použitím meziročního růstu tak dostaneme výsledky, které se více blíží reálnému provozu. V Tab. 32 je u jednotlivých scénářů uvedena hodnota nastavené procentuální meziroční změny. Dále jsou uvedeny hlavní sledované finanční výstupy a srovnání scénářů.

Tab. 32: Citlivostní analýza meziročních změn nákladů a příjmů.

Meziroční změna	Scénář 1	Scénář 2	Scénář 3	Jednotka
Prodej výstupních frakcí	1,0	3,0	0,0	%
Mzdy	3,0	2,0	6,0	%
Provoz	1,0	4,0	2,0	%
Reinvestice	3,0	5,0	6,0	%
Nákup vstupních frakcí	1,0	1,0	2,0	%
<b>Finanční výstupy</b>				
Doba návratnosti investice	7	6	8	rok
Zisk na konci životnosti	31 351 232	50 097 527	6 562 475	Kč
Průměrné roční náklady	20 441 457	20 824 082	21 878 737	Kč/rok
<i>Konkrétně:</i>				
Mzdy	6 481 586	6 190 885	7 452 316	Kč/rok
Provoz	4 263 265	4 892 842	4 462 333	Kč/rok
Reinvestice	454 265	498 409	522 299	Kč/rok
Počáteční investice	4 953 224	4 953 224	4 953 224	Kč/rok
Nákup vstupní frakce	4 288 722	4 288 722	4 488 564	Kč/rok
Průměrné roční výnosy z prodeje frakcí	22 576 580	25 833 834	22 534 985	Kč/rok
Průměrný roční zisk	3 135 123	5 009 753	656 248	Kč/rok
<b>Vztaženo k 1 tuně zpracovaného materiálu</b>				
Náklady	21 517	21 920	23 030	Kč/rok/tuna
Výnos	24 817	27 194	23 721	Kč/rok/tuna
Zisk	3 300	5 273	691	Kč/rok/tuna

Na Obr. 85 je pro scénáře 1 až 3 porovnání průměrných ročních zisků z jedné tuny zpracovaného materiálu jednotlivých frakcí. Dle grafu nejlepší výsledky přinesl scénář č. 2, nastavení tohoto scénáře je v Tab. 32, pozitivní dopad má především meziroční růst cen výkupního materiálu (konkrétně 3% růst) a to i přes uvažovaný negativní vývoj v meziročním růstu v případě nákladů za provoz a reinvestice (konkrétně 4% a 5% růst). Opět je potvrzen velký vliv výkupních cen výstupního materiálu na celkové finanční výsledky.



Obr. 85: Porovnání průměrných ročních zisků z 1 tuny materiálu dle zpracovávaných frakcí.



## • Citlivostní analýza druhového složení vstupního materiálu

V analýze druhového složení vstupního materiálu jsou srovnány 3 různé nastavení modelu. Volba typu plastu a jeho množstevní zastoupení ve vstupním proudu linky je zásadní pro finanční vyhodnocení linky. Každý druh plastu má odlišnou ziskovost a některé z nich mohou být i ztrátové, takže jejich zpracování je nutné dotovat. Pro potenciálního provozovatele linky tohle může mít velký vliv na výběr zpracovávaného materiálu.

Pro scénář č. 1 je druhové složení totožné jako v kapitole 8.18.1 a celkové nastavení modelu je opět stejné jako v uvedené kapitole, aby výsledky nebyly ovlivněny jinými změnami. Množství zpracovaného materiálu jednotlivých druhů plastu je určeno dle podílu z fondu pracovní doby linky, který je věnován zpracování danému druhu. Ve scénáři č. 1 zohledňuje množství zpracovaného materiálu jednotlivých druhů plastu poptávku po jednotlivých typech a je tak pouze teoretický. Další dva scénáře vycházejí z reálných zdrojů poskytnutých vedoucím práce. Ve scénáři č. 2 druhové složení plastů odpovídá výstupu z dotřídňovací linky, dle Tab. 33 je zřejmé, že na dotřídňovací lince nebyl z důvodu náročnosti zpracování tříděn žádný z typů polystyrenů, u HDPE čírého je nulová hodnota z důvodu neprovedení separace na základě barvy. U scénáře č. 3 je druhové složení získáno z výsledků rozborů obsahu nádob pro oddělitelně sbírané složky. Rozbory byly provedeny celkově pro sedm různých vzorků, které byly zprůměrovány. Lze pozorovat podobnost procentuálního zastoupení u některých druhů, je to především u dobře identifikovaných druhů plastu, jako je PET nebo celkové množství HDPE.

*Tab. 33: Druhové složení plastového materiálu u jednotlivých scénářů.*

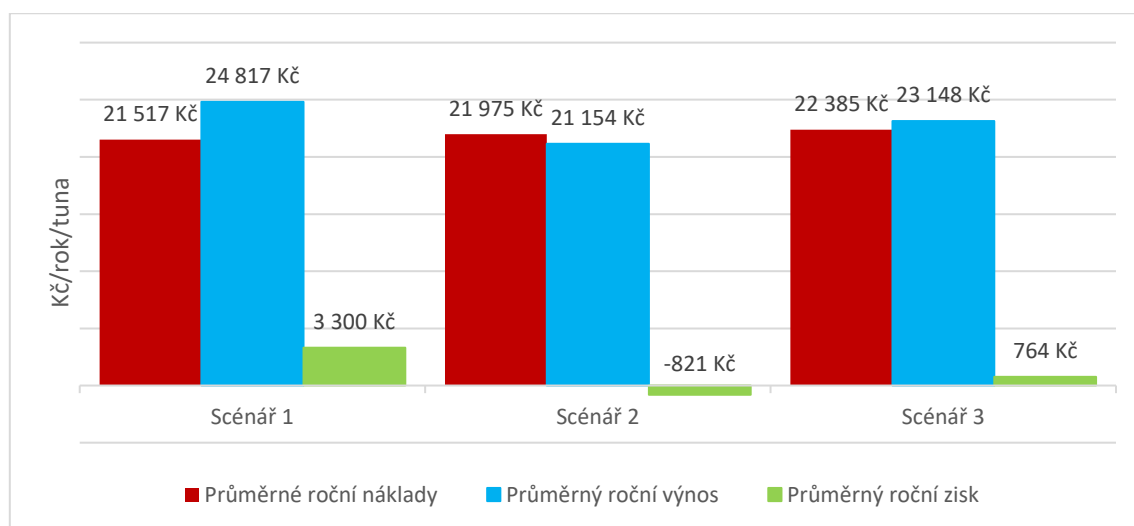
	Dle zastoupení druhů plastu		
Druh plastu	Scénář 1	Scénář 2	Scénář 3
PET - čirý	19 %	18,6 %	22,9 %
PET - mix	6 %	21,7 %	20,8 %
PP - průmyslový	19 %	17,9 %	12,7 %
HDPE - čirý	14 %	0 %	6,9 %
HDPE - mix	8 %	13,3 %	8,0 %
LDPE - čirý	13 %	13,0 %	9,3 %
LDPE - mix	10 %	15,6 %	11,2 %
ABS - mix	2 %	0 %	0 %
PS - krystalický	4 %	0 %	8,2 %
PS - průmyslový	5 %	0 %	0 %
SUMA	100 %	100 %	100 %

Výsledky jednotlivých scénářů jsou shrnuty v Tab. 34, jsou zde uvedeny hlavní výstupní finanční zhodnocení. Dle výsledků je zřejmé, že množství a jednotlivé druhové složení zpracovávaného materiálu má velký vliv na finanční výsledky provozu, z předchozích kapitol se jako nejméně výhodné prokázalo zpracování především PET – mix, PP – průmyslový a LDPE. To se jeví jako problémové, jelikož v reálném složení odpadu v Tab. 33 ve scénářích č. 2 a 3 je zastoupení těchto druhů plastu 68 %, respektive 54 %. Zpracování těchto komodit za daných nastavení modelu je při zatížení poměrnými náklady ztrátové.

Tab. 34: Hlavní finanční výstupy citlivostní analýzy druhové složení.

Finanční výstupy				
	Scénář 1	Scénář 2	Scénář 3	Jednotka
Doba návratnosti investice	7	Nikdy	9	rok
Zisk na konci životnosti	31 351 232	- 7 797 368	7 254 477	Kč
Průměrné roční náklady	20 441 457	20 876 216	21 265 311	Kč/rok
Konkrétně:				
Mzdy	6 481 586	6 481 586	6 481 586	Kč/rok
Provoz	4 263 659	4 259 160	4 256 836	Kč/rok
Reinvestice	454 265	454 265	454 265	Kč/rok
Počáteční investice	4 953 224	4 953 224	4 953 224	Kč/rok
Nákup vstupní frakce	4 288 722	4 727 981	5 119 401	Kč/rok
Průměrné roční výnosy z prodeje frakcí	23 576 580	20 096 479	21 990 759	Kč/rok
Průměrný roční zisk	3 135 123	- 779 737	725 448	Kč/rok
Vztaženo k 1 tuně zpracovaného materiálu				
Náklady	21 517	21 975	22 385	Kč/rok/tuna
Výnos	24 817	21 154	23 148	Kč/rok/tuna
Zisk	3 300	- 821	764	Kč/rok/tuna

Na Obr. 86 je grafické porovnání průměrných ročních nákladů a výnosů u uvažovaných scénářů. U scénáře č. 2 průměrné roční náklady převyšují roční výnosy a provoz zařízení za tohoto nastavení by byl ve výsledku ztrátový. Je to způsobeno především vysokým podílem neziskových frakcí v toku vstupního odpadu u toho scénáře. V reálném provedení lze předpokládat, že investor se vyhne zpracování ztrátových nebo méně výnosných frakcí a zaměří se především na zpracování PET – čirý, HDPE, popřípadě PP.



Obr. 86: Porovnání průměrných ročních nákladů a příjmů vztahené k 1 tuně zpracovaného materiálu.

### 8.3 Nalezení zlomového bodu množství zpracovaného materiálu u jednotlivých frakcí

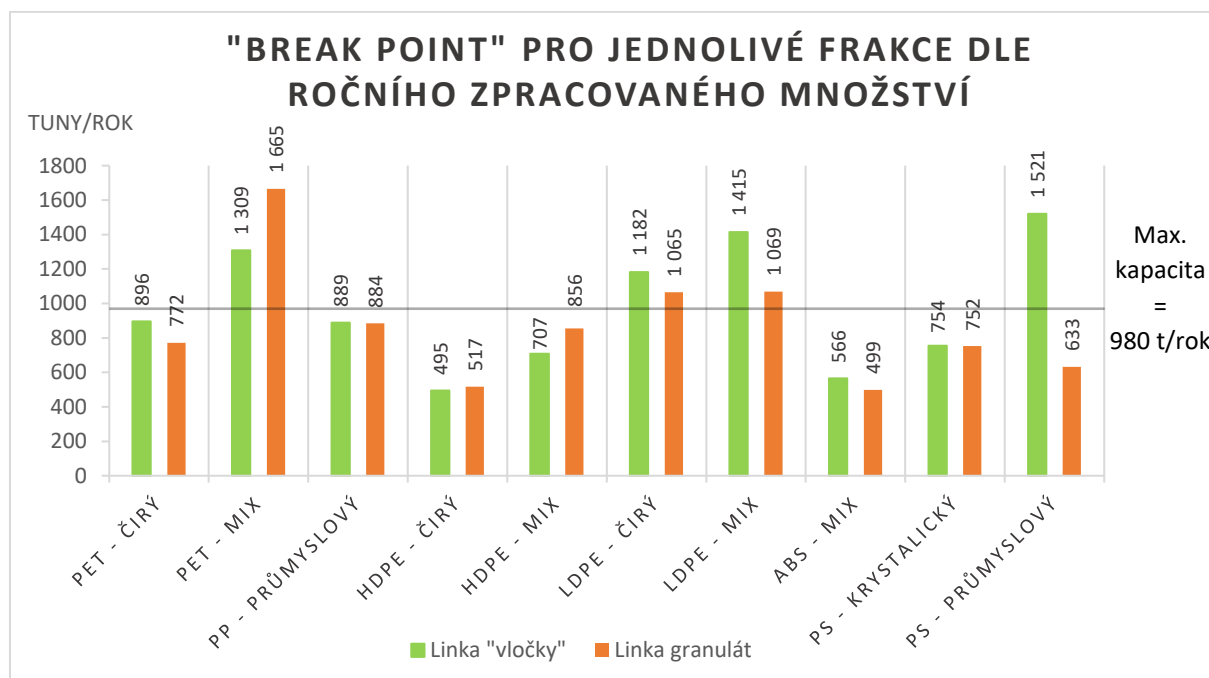
Cílem této části výsledků je nalezení přesného množství jednotlivých frakcí, při kterém se roční bilance, zatížená poměrnými náklady, překlene do kladných hodnot a linka tak není ztrátová. Parametry modelu jsou nastavené pro všechny frakce stejně a jsou shodné

s nastavením v kapitole 8.1. Jediným rozdílem je nastavení doby určené k údržbě a změně frakce, jelikož v tomto případě by linka po celou dobu zpracovávala pouze jeden typ plastu, je možné věnovat této činnosti méně času. Na vstupu do linky je uvažován vždy pouze jeden konkrétní typ plastového materiálu a ve scénářích složení vstupního materiálu je nutné vždy nastavit, pro který typ chceme získat výsledky. Ukázka tohoto nastavení je v Tab. 35.

Tab. 35: Ukázka nastavení složení vstupního materiálu pro získání „zlomových“ bodů.

Zvolený scénář dle typu plastu:	Scénář 3
PET – čirý	100%
PET – mix	0%
PP – průmyslový	0%
HDPE – čirý	0%
HDPE – mix	0%
LDPE – čirý	0%
LDPE – mix	0%
ABS – mix	0%
PS – krystalický	0%
PS – průmyslový	0%
Celkem	100%

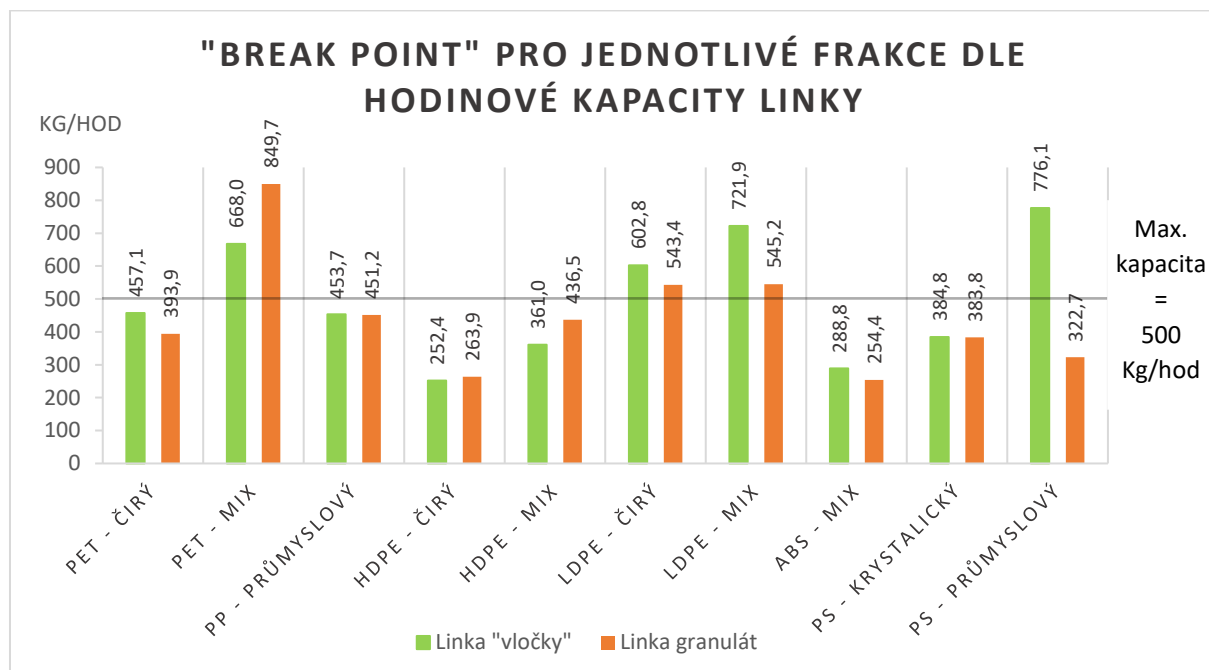
Samotné výsledky jsou graficky vyjádřeny na Obr. 87 a Obr. 88. V každém z grafů je porovnání linky s výstupem ve formě „vloček“ a granulí. V grafu je vyznačena maximální roční kapacita linky, respektive maximální hodinová kapacita linky. Frakce, jejichž výsledek se nachází nad touto hranicí, jsou pro tuto konkrétní linku ztrátové a zlomový bod množství ročně zpracovaného materiálu leží nad maximální kapacitou linky. Z ekonomického hlediska se tedy vyplatí zpracovávat frakce, u kterých je výsledek co nejvyšší.



Obr. 87: „Zlomový“ bod množství zpracovaného materiálu u jednotlivých frakcí.

Dle výsledků je zřejmé, že u některých frakcí, jako je PET – čirý, PS – průmyslový nebo u obou variant LDPE zpracováním do podoby granulí jsou získány značně lepší výsledky

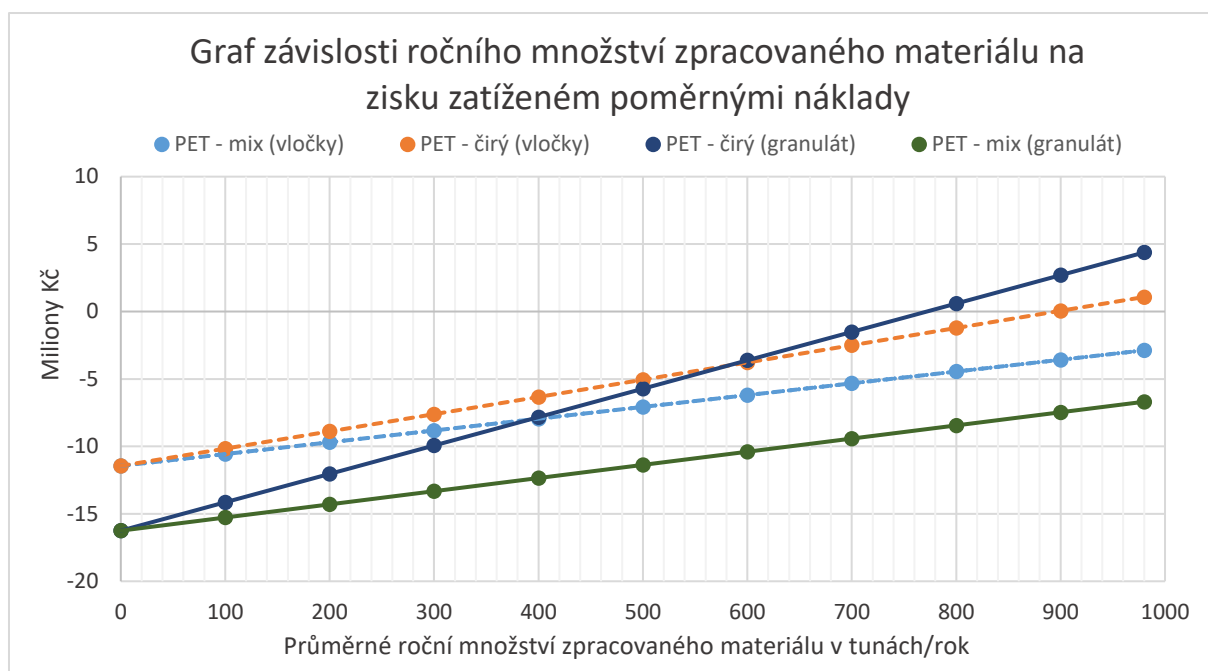
v porovnání se zpracováním těchto frakcí pouze do podoby „vloček“. U jiných druhů plastu není rozdíl tak markantní, nebo dokonce, jako například u PET – mix nebo HDPE – mix ztrácí smysl zpracovávat tyto frakce do podoby granulí, jelikož výsledky jsou ekonomicky nerentabilní. Hlavním důvodem je vstupní nastavení cen TE modelu. Největší vliv na výsledky porovnání variant linky má rozdíl výkupní ceny mezi „vločkami“ a regranulátem, nákupní ceny vstupního materiálu a dále rozdílné mzdové, provozní a investiční náklady mezi oběma variantami linky.



Obr. 88: „Zlomový bod“ vyjádřený v hodinové kapacitě u jednotlivých frakcí.

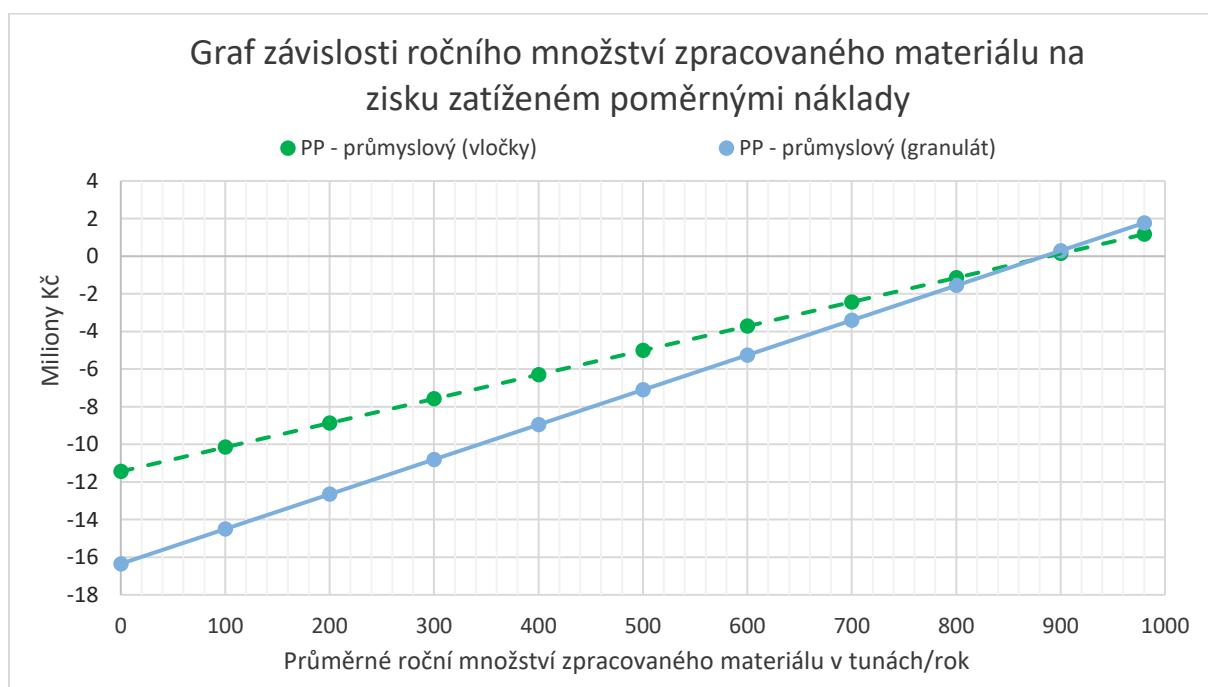
Dalším výstupem z analýzy nalezení zlomového bodu jsou graficky vyjádřené závislosti ročně zpracovaného materiálu na ziskovosti zatížené poměrnými náklady u jednotlivých frakcí na Obr. 89, Obr. 90, Obr. 91 a Obr. 92. Protnutí přímky nulovou hodnotou na ose „y“ získáme z těchto grafů zlomový bod pro přesné množství, které je potřebné ročně zpracovat, aby bylo docíleno kladných hodnot. V případě, že k tomuto protnutí nedojde, znamená to, že ani při využití maximální kapacity pro danou frakci není možné dosáhnout kladného zisku v rámci nastavení TE modelu. Takto identifikované frakce se z ekonomického hlediska nevyplátí zpracovávat a jejich přepracování do formy vloček nebo regranulátu musí být dotováno ze zisků linky.

V případě zpracování PET, dle grafu na Obr. 89, se frakce PET – čirý určitě vyplátí zpracovat do podoby regranulátu, jeho přímka má v případě zpracování do podoby regranulátu nejstrmější trend růstu a nulovou hodnotou na ose „x“ protíná jako první. Naopak PET – mix (barevný PET) se nevyplátí zpracovávat do výstupní podoby ve formě regranulátu. Trend růstu je u přímky pro regranulát téměř stejný jako v případě zpracování do podoby vloček. V obou případech je zpracování této frakce ztrátové, což je dáno především nízkou výkupní cenou.



Obr. 89: Výsledný graf z analýzy nalezení „break pointu“ pro PET – čistý a PET – mix.

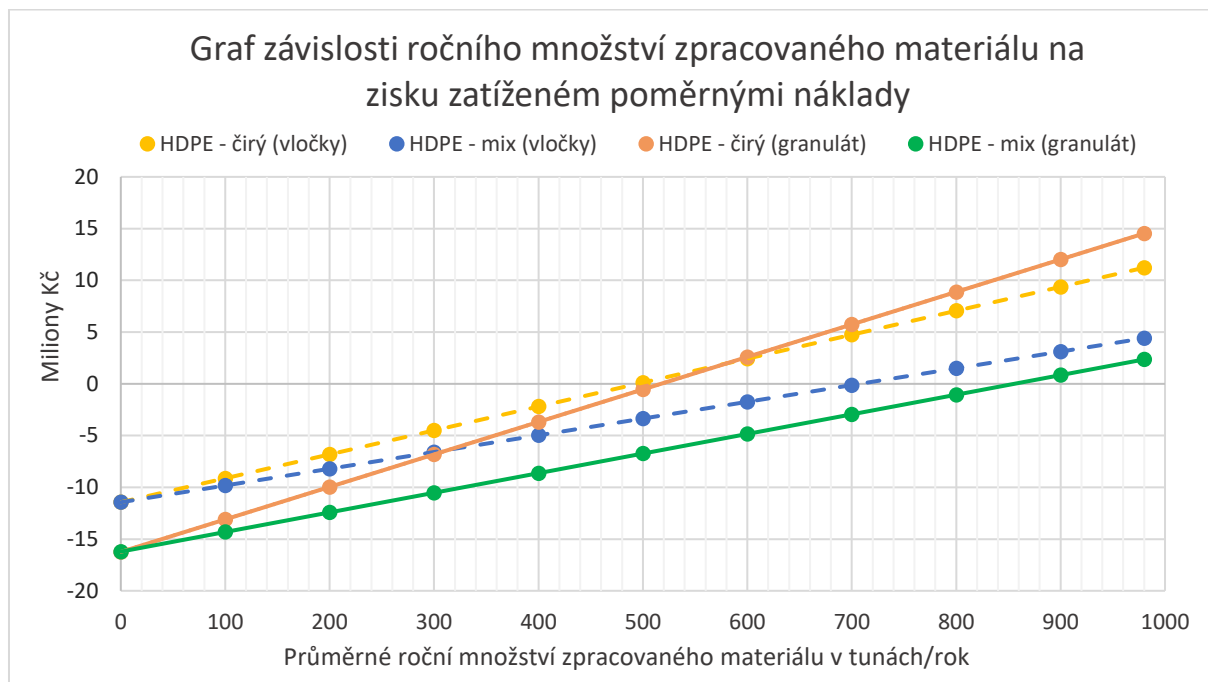
V případě zpracování PP – průmyslový je zlomový bod dle Obr. 90 téměř totožný, v případě regranulátu má zlomový bod hodnotu 884 tun/rok, v případě vloček 889 tun/rok. Dle strmějšího růstu přímky lze odvodit dosažení lepších výsledků v případě zpracování do podoby regranulátu.



Obr. 90: Výsledný graf z analýzy nalezení „break pointu“ pro PP – průmyslový.

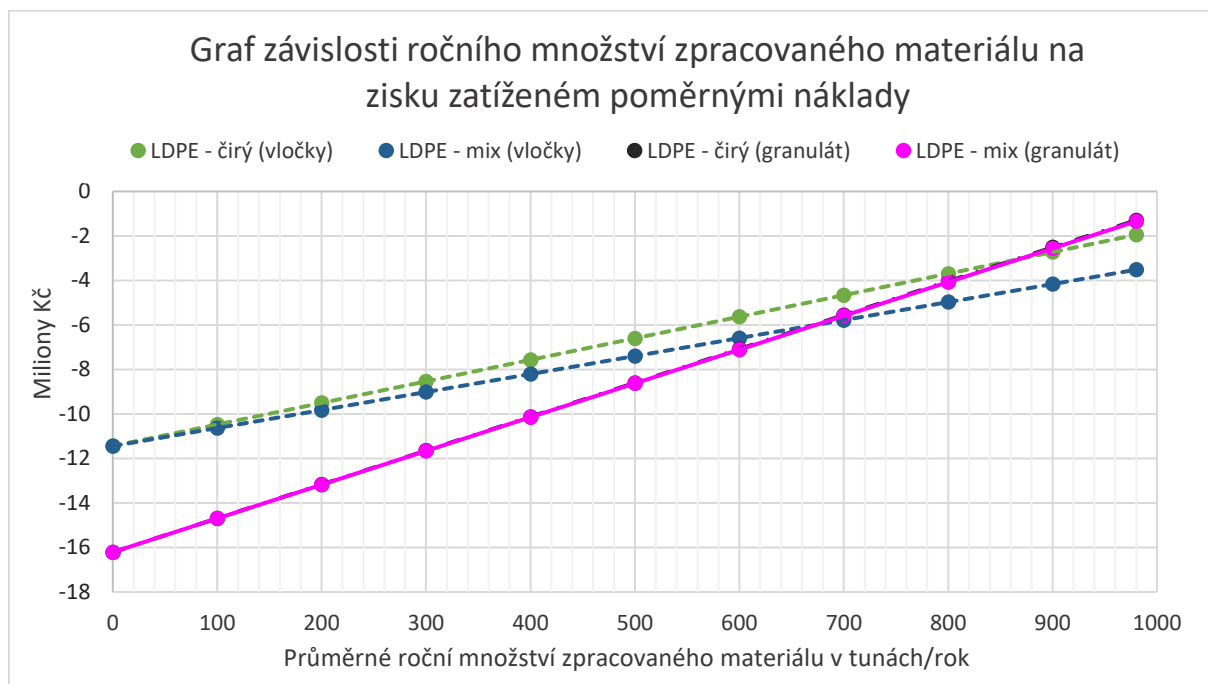
V případě zpracování HDPE je dle Obr. 91 nejrychleji dosaženo zlomového bodu zpracováním HDPE – čistý do podoby vloček, ovšem opět dle zřejmého strmějšího růstu přímky v případě HDPE – čistý do podoby regranulátu je očividné, že se vyplatí tuto frakci zpracovat až do podoby granulí. V případě HDPE – mix je situace odlišná, trend růstu přímky je v případě

obou forem výstupu (vločky, regranulát) velice podobný a jelikož přímkou regranulátu nikde v oblasti grafu neprotnula přímkou pro výstup ve formě vloček, lze usoudit, že tuto frakci se nevyplatí zpracovat do podoby regranulátu.



Obr. 91: Výsledný graf z analýzy nalezení „break pointu“ pro HDPE – čistý a HDPE - mix.

V případě zpracování LDPE je dle Obr. 92Tab očividné, že zpracování této frakce je ztrátové, výkupní ceny jsou v obou případech výstupu (vločky, regranulát) příliš nízké a příjmy z prodeje těchto frakcí nepokryjí náklady.



Obr. 92: Výsledný graf z analýzy nalezení „break pointu“ pro LDPE – čistý a LDPE - mix.



## 9 ZÁVĚR

Prekládaná diplomová práce na téma „Efektivní návrh a provoz recyklační linky jako prvek komplexního odpadového řetězce“ se zabývá problematikou nakládání s materiálově využitelnými komunálními odpady se zaměřením na různé druhy plastů.

Úvodní část práce popisuje aktuální situaci v oblasti nakládání s materiálově využitelnými odpady v ČR a statistické porovnání s vybranými zeměmi Evropské Unie. Jsou nastíněny klíčové legislativní dokumenty z oblasti nakládání s odpady a systém jejich zpracování. Česká legislativa vychází z nařízení a směrnic platných na území Evropské unie, kde je detailní popis způsobů třídění, manipulace a zpracování materiálově využitelných odpadu. V ČR je dosahováno z hlediska třídění velmi dobrých výsledků, a to i v porovnání s ostatními státy EU. Z odděleně sbíraných složek KO se daří úspěšně recyklovat komodity jako papír, sklo a kovy. U těchto komodit je téměř veškerý vytríděný odpad materiálově využit. U plastového odpadu je situace komplikovanější z důvodu značné druhové rozmanitosti (zejména různé druhy plastů, přídavná aditiva) a jejich kombinace ve výrobcích. Proces recyklace se proto u plastového odpadu stává technologicky náročným procesem a ekonomicky často nerentabilním, především z důvodu nutnosti dokonalého oddělení a vyčištění jednotlivých frakcí. Značná část vytríděného plastového odpadu (zejména výmět, resp. příměsi) z těchto důvodů končí v energetických koncovkách nebo na skládkách.

V teoretické části jsou detailně popsány způsoby vzniku polymerních materiálů, hlavní dělení a jejich základní vlastnosti se zaměřením na konkrétní druhy plastů. Tyto vybrané frakce plastů jsou následně uvažovány jako vstupní materiál na recyklační lince. V další části práce je popsána technologie zpracování plastového odpadu, především vytvoření komplexního řetězce zpracování plastového odpadu, který začíná vznikem plastového odpadu a na jeho konci je výroba plastových produktů z recyklovaného plastového materiálu. Podstatná část práce je věnována popisu recyklační linky, jako klíčovému zařízení v řetězci navazující na dotřídňovací linky. V práci je detailní popis fungování recyklační linky a veškerých nezbytných zařízení, které recyklační linka obsahuje. Tato část je stěžejní pro vytvoření TE modelu a jeho správného pochopení. Výstupním materiálem recyklační linky je druhotně využitelný materiál v podobě vloček nebo regranulátu. Jedním z primárních cílů vytvoření TE modelu bylo porovnání těchto dvou variant linky z hlediska materiálové bilance a finanční stránky provozu.

Praktická část práce se zabývá vytvořením TE modelu recyklační linky zpracovávající plastový materiál (druhotnou surovinu) z dotřídňovacích linek a následně aplikuje vhodné scénáře do provozu. Součástí vytvoření modelu je analýza tržních cen recyklovaného plastu. Základem pro vytvoření modelu je identifikace nákladů a příjmů z provozu recyklační linky. Z hlediska nákladů model počítá s vybudováním zcela nového provozu, tzv. stavba na zelené louce, jejíž součástí je investice do nákupu pozemku, jeho nezbytná úprava (terénní práce, zpevnění), výstavba zpracovatelské a skladovací haly, nákup technologie linky, vybavení haly a další. Dále jsou stanoveny provozní (zejména spotřeby energií), mzdové a reinvestiční náklady. Jediný příjem provozu je uvažován z prodeje materiálu vystupujícího z linky (vločky, regranulát). Na základě vstupních dat TE model odhaduje celkovou bilanci linky, uživatelem jsou vyčísleny náklady a příjmy provozu. Následně jsou náklady a příjmy porovnány a jsou vytvořeny vybrané sledované výstupy, z nichž mezi hlavní patří množství zpracovaného materiálu, návratnost investice, zisk na konci uvažované živostnosti nebo průměrný roční zisk ze zpracování jednotlivých frakcí. Veškeré výstupy jsou závislé na momentálním nastavení řady vstupních proměnných, je tak umožněno kombinovat různá nastavení, s cílem poskytnout

co nejreálnější výstupní informace. Součástí modelu bylo vytvoření citlivostních analýz, ve kterých se porovnávaly jednotlivé scénáře. Vždy byly vytvořeny tři různé scénáře. Scénář č. 1 (případně Scénář „X“) je ve všech analýzách shodný, slouží jako referenční, aby bylo možné pozorovat jednotlivé změny ve výstupních parametrech. Další dva scénáře č. 2 a č. 3 (případně scénář „Y“ a „Z“) potom simulují růst (pokles) měněných vstupních dat, na základě konkrétní citlivostní analýzy.

Při testování TE modelu bylo nastaveno, pro všechny scénáře, stejné procentuální zastoupení jednotlivých plastových frakcí (kromě citlivostní analýzy druhového složení vstupního materiálu), aby nedošlo ke zkreslení výsledků. Složení vstupního toku plastového materiálu reflektuje poptávku po jednotlivých frakcích. Je tak uvažováno zpracování frakcí, které se v reálných provozech příliš často neobjevují (PS, ABS, LDPE), z důvodu náročnosti nebo neefektivity zpracování těchto frakcí. Zastoupením všech typů uvažovaných frakcí umožní získat údaje o ziskovosti jednotlivých druhů plastového materiálu.

Jedním z hlavních cílů TE modelu bylo porovnání recyklační linky s výstupem ve formě vloček a regranulátu. Při zpracování vstupních frakcí do podoby regranulátu jsou z důvodu použití komplikovanější technologie vyšší počáteční náklady (konkrétně o 14 178 671 Kč), ovšem na trhu s recyklovaným plastovým materiálem má regranulát větší uplatnění a výkupní ceny regranulátu jsou vyšší než v případě vloček. Z pohledu investiční návratnosti není ve výsledcích podstatného rozdílu, v případě linky s výstupem ve formě vloček se jedná konkrétně o 8 rok provozu, v případě výstupu ve formě regranulátu 7 rok provozu (vyšší výkupní cena regranulátu na trhu). Při uvažované životnosti linky 10 let lze považovat takový výsledek za uspokojivý, vzhledem ke složení vstupního toku plastu, kde jsou zastoupeny i frakce, které jsou ztrátové. Větší rozdíl lze pozorovat v celkových příjmech za životnost linky, kdy varianta linky s výstupem ve formě regranulátu zajistí po dobu životnosti o více jak 19 miliónů vyšší zisk. Dalším důležitým výstupem z této analýzy je ziskovost jednotlivých frakcí. Ekonomicky nejzajímavějších výsledků bylo dosaženo u frakcí PET – čirý, HDPE – čirý, ABS a PS – průmyslový. Naopak jako ztrátové se ukázalo zpracování obou uvažovaných frakcí LDPE a PET – mix. Nastavení modelu linky s výstupem v podobě regranulátu (Scénář č. 1, kapitola 8.1.1) posloužilo jako referenční pro následující citlivostní analýzy provedené v další části práce.

Citlivostní analýza byla provedena pro změnu fondu pracovní linky (8 hodinová a 12 hodinová pracovní doba), vliv započítání počáteční investice (dotační program), výkupní cenu výstupních surovin, meziroční změnu nákladů a příjmů a druhové složení vstupního materiálu. U všech citlivostních analýz jsou výsledky scénáře č. 1 (případně scénář „X“) shodné a slouží jako referenční. Mezi podstatné se řadí zejména citlivostní analýza výkupních cen výstupních surovin, jelikož příjmy provozu plynou pouze z prodeje regranulátu (vloček). Další podstatnou analýzou je složení vstupního toku materiálu. Druhové složení vstupního toku bylo určeno dle poskytnutých dat vedoucím práce na základě realizovaných rozborů odpadu (SEP-PLA) a reálných dat z dotřídňovací linky. Bylo zjištěno, že velkou část plastového vstupního odpadu tvoří frakce, u kterých je zpracování ekonomicky neefektivní, dle výsledků práce a analýz s pomocí TE modelu. Jednalo se zejména o frakce LDPE, PET – mix a PP.

Celkově z provedených analýz vyplývá, že provoz recyklační linky je ekonomicky a technologicky náročným projektem, zejména z důvodu velkého množství zpracovávaných frakcí (v případě kombinovaného režimu). Hlavním problémem z ekonomického hlediska je

zajištění zpracování frakcí, u kterých je zpracování ekonomicky neefektivní a výnos z prodeje nepokryje poměrné náklady na provoz. Lze očekávat nezájem zpracovatelů o tyto frakce, a jelikož dle provedených rozborů a datům z reálné dotříd'ovací linky tvoří tyto frakce až 2/3 plastového odpadu nabízí se otázka, jak dosáhnout lepších výsledků s cílem efektivní ekonomiky. Řešením by mohlo být zlepšení podmínek pro recyklaci plastových odpadu, sjednocení designu u výrobků z plastu, dotační programy pro zpracovatele těchto frakcí nebo investování zcela do nových technologií zpracovávající plastový odpad (chemická recyklace, automatizace dotříd'ovacích linek a další).

## ZDROJE:

- [1] *The New Plastics Economy — Rethinking the future of plastics* [online]. World Economic Forum, Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company, 2016 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/EllenMacArthurFoundation\\_TheNewPlasticsEconomy\\_Pages.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/EllenMacArthurFoundation_TheNewPlasticsEconomy_Pages.pdf)
- [2] *Plán odpadového hospodářství České republiky pro období 2015 – 2024*. In: Ministerstvo životního prostředí, 2014. Dostupné také z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poh\\_cr\\_prislusne\\_dokumenty/\\$FILE/OODP-POH\\_CR\\_2015\\_2024\\_schvalena\\_verze\\_20150113.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poh_cr_prislusne_dokumenty/$FILE/OODP-POH_CR_2015_2024_schvalena_verze_20150113.pdf)
- [3] Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů 185/2001 Sb. Praha: MŽP, 2001, 185/2001 Sb.
- [4] *Produkce, využití a odstranění odpadů* [online]. Praha: Český statistický úřad, 2018 [cit. 2019-08-19]. ISBN 978-80-250-2871-1. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/61546956/28002018.pdf/36b79716-4bee-4e66-96b8-0298993b2276?version=1.3>
- [5] *Plastics – the Facts 2018: An analysis of European plastics production, demand and waste data* [online]. PlasticsEurope, 2018 [cit. 2019-08-19]. Dostupné z: [https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics\\_the\\_facts\\_2018\\_AF\\_web.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf)
- [6] Balíček odpadového hospodářství schválen. In: *Česká asociace odpadového hospodářství* [online]. 2018 [cit. 2019-08-19]. Dostupné z: <http://www.caoh.cz/odborne-clanky-a-aktuality/balicek-obehoveho-hospodarstvi-schvalen.html>
- [7] *Přehled dosahovaných výsledků* [online]. EKO-KOM, 2018 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.ekokom.cz/cz/ostatni/vysledky-systemu/vyrocní-shrnutí>
- [8] Jak systém funguje?. In: *EKO-KOM* [online]. Praha, 2016 [cit. 2019-08-29]. Dostupné z: <https://www.ekokom.cz/cz/klienti/jak-system-funguje>
- [9] *Výroční shrnutí 2018* [online]. Praha: EKO-KOM, 2018, **2018** [cit. 2019-09-29]. Dostupné z: [https://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Obecne/Vyrocní-shrnutí\\_2018\\_EKO\\_KOM.pdf](https://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Obecne/Vyrocní-shrnutí_2018_EKO_KOM.pdf)
- [10] CHÝLKOVÁ, Markéta. Systém třídění odpadů v ČR. *CZ Test - Svět potravin* [online]. 2019, 1-2 [cit. 2019-08-29]. Dostupné z: [https://www.ekokom.cz/uploads/news/id720/20190325\\_svet\\_potravin.pdf](https://www.ekokom.cz/uploads/news/id720/20190325_svet_potravin.pdf)
- [11] *Evropská strategie pro plasty v oběhovém hospodářství* [online]. Štrasburk: Evropská komise, 2018 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2df5d1d2-fac7-11e7-b8f5-01aa75ed71a1.0014.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:2df5d1d2-fac7-11e7-b8f5-01aa75ed71a1.0014.02/DOC_1&format=PDF)

- [12] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymer-výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Praha: VŠCHT v Praze, 2006, 280 s. ISBN 80-7080-617-6.
- [13] S. KULKARNI, *Introduction to polymers and plastics*, in: S. Kulkarni (Ed.), *Robust Process Development*, Hanser, Hanser Publications, Cincinnati, 2010, pp. 9-26.
- [14] N.K. Verma, S.K. Khanna, B. Kapila, *Comprehensive Chemistry XII*, Laxmi Publications, New Delhi, India, 2004.
- [15] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymer* [online]. 2016. Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz [cit. 2019-05-16]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/02.html>
- [16] SHRIVASTAVA, ANSHUMAN. (2018). *Introduction to Plastics Engineering - 1.4.2 Synthetic*. Elsevier. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011PHYED/introduction-plastics/synthetic9>
- [17] SASTRI, VINNY R.. (2014). *Plastics in Medical Devices - Properties, Requirements, and Applications - 3.6.1 Thermoplastics*. Elsevier. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00UR01H1/plastics-in-medical-devices/thermoplastics>
- [18] HESTIN, Mathieu, Andreas MITSIOS, Sarah AIT SAID, Felix FOURET, Anton BERWALD a Victoire SENLIS. *Blueprint for plastics packaging waste: Quality sorting & recycling*. Deloitte, 2017. Dostupné také z: [https://www.plasticsrecyclers.eu/sites/default/files/PRE\\_blueprint%20packaging%20waste\\_Final%20report%202017.pdf](https://www.plasticsrecyclers.eu/sites/default/files/PRE_blueprint%20packaging%20waste_Final%20report%202017.pdf)
- [19] Kunststoffe zum Kennenlernen:: Polyethen. In: *Kunststoffe chemisch* [online]. 2018 [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: <https://kirste.userpage.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/polyethylen.htm>
- [20] *PE a PP: Makromolekulární chemie* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/PE%20a%20PP2013.pdf>. Studijní opory. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem.
- [21] PAUL, Martin. What's the Difference Between Polypropylene Types?. In: *Machine design* [online]. The Madison Group, 2018 [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: <https://www.machinedesign.com/community/what-s-difference-between-polypropylene-types>
- [22] JANSEN, Jeffrey. Plastics - It's all about molecular structure. In: *Plastics engineering* [online]. The Madison Group, 2016 [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: [http://read.nxtbook.com/wiley/plasticsengineering/september2016/consultantscorner\\_plastics.html](http://read.nxtbook.com/wiley/plasticsengineering/september2016/consultantscorner_plastics.html)
- [23] Polyethylene Terephthalate (PET): A Comprehensive Review. In: *Omnexus - The material selection platform* [online]. [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polyethylene-terephthalate-pet-plastic>

- [24] KOLÁŘ, Zbyněk. *Značení obalů* [online]. EKO-KOM, 2016 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: [https://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Klienti/znaceni\\_obalu\\_14-01a.pdf](https://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Klienti/znaceni_obalu_14-01a.pdf)
- [25] Přehled recyklačních značek. *Trídění odpadu* [online]. [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <http://www.dripatka.cz/files/recyklaclni%20znacky.pdf>
- [26] *Eko komunikace: Zpravodaj pro klienty společnosti EKO-KOM* [online]. EKO-KOM, 2018 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: [https://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Klienti/Ekomunikace/EKOKOMUNIKACE\\_03\\_2018.pdf](https://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Klienti/Ekomunikace/EKOKOMUNIKACE_03_2018.pdf)
- [27] *Zpravodaj Ministerstva životního prostředí: Dost bylo plastu* [online]. MŽP, 2018 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: [https://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Klienti/Ekomunikace/EKOKOMUNIKACE\\_03\\_2018.pdf](https://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Klienti/Ekomunikace/EKOKOMUNIKACE_03_2018.pdf)
- [28] *European bioplastics, nova-Institute: Bioplastics market data* [online]. European bioplastics, 2018 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.european-bioplastics.org/market/>
- [29] R. JAMBECK, Jenna, Roland GEYER, Chris WILCOX a Theodore R. SIEGLER. Marine pollution: Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*. 2015, **2015**(347). ISSN 1095-9203. Dostupné také z: [https://www.iswa.org/fileadmin/user\\_upload/Calendar\\_2011\\_03\\_AMERICANA/Science-2015-Jambeck-768-71\\_\\_2\\_.pdf](https://www.iswa.org/fileadmin/user_upload/Calendar_2011_03_AMERICANA/Science-2015-Jambeck-768-71__2_.pdf)
- [30] *A European Strategy for Plastics in a Circular Economy* [online]. Brusel: EUROPEAN COMMISSION, 2018 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/plastics-strategy-swd.pdf>
- [31] SHERRINGTON, Chris. *Plastics in the Marine Environment* [online]. 2016 [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: <https://www.eunomia.co.uk/reports-tools/plastics-in-the-marine-environment/>
- [32] BARTOŠ, J. "Ostrovy" odpadků. *Geografické rozhledy*. 2013, **22**(4), 20–21. Dostupné také z: <https://www.geograficke-rozhledy.cz/archiv/clanek/364/pdf>
- [33] ARCHER, Mary D. Barber, James. (2004). *Molecular to Global Photosynthesis - 6.3.1 Cell Size*. (pp. 298 - 301). World Scientific. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt006ALDT2/molecular-global-photosynthesis/cell-size>
- [34] *Life Below Water – Marine Litter* [online]. In: . Unicef [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://kids.imo.org/downloads/UNEP-lesson-on-marine-litter.pdf>
- [35] SABU, Thomas, *Recycling of Polyurethane Foams* [online]. 2018. Elsevier, 2018 [cit. 2019-05-03]. ISBN 978-0-323-51133-9.
- [36] FRANCIS, Raju. (2017). *Recycling of Polymers - Methods, Characterization and Applications*. John Wiley & Sons. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpRPMCA001/recycling-polymers-methods/recycling-polymers-methods>



- [37] *Mechanical recycling: Compatibilization of mixed thermoplastic wastes*, *Polymer Degradation and Stability* [online]. 2018, **2018**(147) [cit. 2019-09-19]. ISSN 0141-3910. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391017303373>
- [38] *Accelerating circular supply chains for plastics* [online]. USA: Closed loop partners, 2019 [cit. 2019-09-19]. Dostupné z: [http://www.closedlooppartners.com/wp-content/uploads/2019/04/CLP\\_Circular\\_Supply\\_Chains\\_for\\_Plastics.pdf](http://www.closedlooppartners.com/wp-content/uploads/2019/04/CLP_Circular_Supply_Chains_for_Plastics.pdf)
- [39] RAGAERT, Kim, Laurens DELVA a Kevin VAN GEEM. *Waste Management: Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste* [online]. **2017**(69) [cit. 2019-05-22]. ISSN 0956-053X. Dostupné z: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0956053X17305354>
- [40] *Elektronický zpravodaj pro města a obce: Rozbory odpadů* [online]. 2017: EKO KOM, (18) [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://www.ekokom.cz/uploads/news/id627/ZPR@VODAJ\\_18\\_2017\\_final.pdf](https://www.ekokom.cz/uploads/news/id627/ZPR@VODAJ_18_2017_final.pdf)
- [41] *Produkce, využití a odstranění odpadů*. Odbor statistiky zemědělství, lesnictví a životního prostředí. Praha: Český statistický úřad, 2018. ISBN 978-80-250-2871-1. Dostupné také z: <https://www.czso.cz/documents/10180/61546956/28002018.pdf/36b79716-4bee-4e66-96b8-0298993b2276?version=1.3>
- [42] *Metodika vyplnění čtvrtletního výkazu EKO-KOM, a.s.: Základní vysvětlení pojmů* [online]. In: EKO-KOM, 2018, s. 2-6 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [https://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Obce/zmeny%20201812/Metodika\\_vyplneni\\_vykazu\\_EKOKOM\\_od\\_1Q\\_2019.pdf](https://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Obce/zmeny%20201812/Metodika_vyplneni_vykazu_EKOKOM_od_1Q_2019.pdf)
- [43] Kontejnerová stání - třídící hnízda. In: *Oficiální stránky obce Rudíkov* [online]. 2017 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.rudikov.cz/news/kontejnerova-stani-tridici-hnizda/>
- [44] KROPÁČEK, Ivo. *Pytlový sběr odpadů*. Hnutí Duha, 2005. Dostupné také z: [http://www.hnutiduha.cz/sites/default/files/publikace/typo3/Pytlovy\\_sber\\_odpadu.pdf](http://www.hnutiduha.cz/sites/default/files/publikace/typo3/Pytlovy_sber_odpadu.pdf)
- [45] CHAROUSEK, Pavel. *Pytlový sběr v Turnově 2014: Kde a jak hledat slevy*. In: *Turnovsko v akci* [online]. 2015 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.turnovskovakci.cz/zapisnik-vse/zapisnik/pytlovy-sber-v-turnove-2014-kde-a-jak-hledat-slevy/>
- [46] *All for power: Třídící linka a drtič odpadu pro spalovnu SAKO v Brně* [online]. 2011, **5**(4) [cit. 2019-05-25]. ISSN 1802-8535. Dostupné z: <http://www.floowie.com/cs/cti/floowie-casopis-afp-04-11/#/strana/44/zvacseni/100/>
- [47] Recyklace plastů: Ekologická recyklace plastů moderními technologiemi. In: *SCHWÁKOV S. R. O.* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://www.schwakov.cz/cs/recyklace-plastu>
- [48] Dotřídovací linky separovaného odpadu TDS. In: *Bluetech s.r.o., továrna na dopravníky* [online]. [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: <https://www.bluetech.cz/dotridovaci-linky-separovaneho-odpadu-tds>

- [49] GUŠTARA, D. Efektivní návrh a provoz třídící linky jako prvek komplexního odpadového řetězce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 83 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Gregor.
- [50] V Klatovech mají novou dotřídňovací linku odpadů. In: *Český rozhlas* [online]. Plzeň, 2018 [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: <https://plzen.rozhlas.cz/v-klatovech-maji-novou-dotridovaci-linku-odpadu-7574111>
- [51] Presto PET perforator. In: *Presto - for your pressing issues* [online]. [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: <https://www.presto.eu/en/products/more-presto-products/pet-perforator.html>
- [52] Pásové dopravníky - přehled. *ODES - zařízení pro ekologii* [online]. [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: [http://www.odes.cz/files/tinymce/dopravniky/odes-dopravniky\\_pasove.pdf](http://www.odes.cz/files/tinymce/dopravniky/odes-dopravniky_pasove.pdf)
- [53] Hopper / Conveyors / Steel Belt Feeders: Steel Belt Feeders. In: *CRS - Complete Recycling Systems* [online]. [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: <https://www.crsni.co.uk/hopper-conveyors-steel-belt-feeders/>
- [54] Podklady poskytnuté vedoucím práce Ing. Jiří Gregor, Ph.D. na základě ústní konzultace. *Technical proposal: Beksmak Makine San. Dış. Tic. Ltd. Şti.* Istanbul, 2018.
- [55] Jednohřídelové drtiče. *DEOS Technology s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: [https://www.deostech.cz/drtice/jednohridelove\\_drtice](https://www.deostech.cz/drtice/jednohridelove_drtice)
- [56] WLK Jumbo / Super Jumbo - Shredding. In: *Wiema* [online]. [cit. 2019-05-27]. Dostupné z: <https://weima.com/us/shredders/wlk-jumbo-super-jumbo/>
- [57] Film Dewatering Machine VTFS-1000. *Vita recyclers* [online]. China [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: <http://www.vitarecycles.com/film-dewatering-machine-vtfs-1000/>
- [58] Agglomeration Silo. In: *Recycling system and technology* [online]. [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: <http://www.gcmgeridonsum.com/en0/agglomeration-silo.html>
- [59] Zpracování odpadu: Aglomerátor NA 15A, NA 15B. *Sekon plast s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: <http://www.sekon.cz/zpracovani-odpadu01.html>
- [60] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. Code Creator, 2016 [cit. 2019-06-01]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/14.html>
- [61] AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů* [online]. Code Creator, 2016 [cit. 2019-06-01]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/02.html>
- [62] Air Cooling Hot Face Plastic Granulator PVC PP PE PS Pelletizing Line. In: *CNBm Internatinal Corporation* [online]. [cit. 2019-06-01]. Dostupné z: <https://cnbmjacky.en.made-in-china.com/productimage/HSumLsgOLDhZ-2f1j00YZjaFNWmcSqA/China-Air-Cooling-Hot-Face-Plastic-Granulator-PVC-PP-PE-PS-Pelletizing-Line.html>
- [63] LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. Code Creator, 2016 [cit. 2019-06-07]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/01.html>

- [64] Plastic Extrusions Supplier. In: *Offshore direct metals* [online]. [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: <http://www.odmetals.com/plastic-extrusions.html>
- [65] 5 Gallon Pet Preform 55mm Neck. In: *Sunswell Machinery* [online]. [cit. 2019-06-10]. Dostupné z: <https://sunswell.en.made-in-china.com/product/dKiQJBOYMokF/China-5-Gallon-Pet-Preform-55mm-Neck.html>
- [66] Konfigurátor haly, barev a rozměrů. *UNIHAL - Svět montovaných hal* [online]. 2019 [cit. 2019-07-27]. Dostupné z: <https://www.unihal.cz/konfigurator-haly>
- [67] Improving Markets for Recycled Plastics: Trends, Prospects and Policy Responses. In: *OECD* [online]. Paříž: OECD Publishing, 2018 [cit. 2019-09-09]. Dostupné z: [https://books.google.cz/books?id=YxBdDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbg\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.cz/books?id=YxBdDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- [68] Plastics resin pricing - Recycled plastics. *Plastics News* [online]. Crain - Global Polymer Group, 2019 [cit. 2019-09-09]. Dostupné z: <https://www.plasticsnews.com/resin/currentPricing/recycled-plastics>
- [69] Recycling – secondary material price indicator. In: *Eurostat - Statistics Explained* [online]. Eurostat, 2019 [cit. 2019-09-09]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Recycling\\_%E2%80%93\\_secondary\\_material\\_price\\_indicator](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Recycling_%E2%80%93_secondary_material_price_indicator)

## SEZNAM OBRÁZKŮ:

OBR. 1: HIERARCHIE NAKLÁDÁNÍ S ODPADEM. [2].....	11
OBR. 2: PROGNOZA NAKLÁDÁNÍ S KO V ČR V LETECH 2013 – 2024. [2] .....	12
OBR. 3: REÁLNÉ VÝSLEDKY NAKLÁDÁNÍ S KO V ČR V ROCE 2017 DLE ČSÚ. [4] .....	12
OBR. 4: TOK SPOTŘEBITELSKÉHO PLASTOVÉHO ODPADU V EU + NORSKO, ŠVÝCARSKO V ROCE 2016. [5] .....	13
OBR. 5: RECYKLACE PLASTOVÝCH OBALŮ V RÁMCI ZEMÍ EU V ROCE 2016. [5] .....	14
OBR. 6: SHRUTÍ NAKLÁDÁNÍ SE SPOTŘEBITELSKÝM PLASTOVÝM ODPADEM V ZEMÍCH EU V ROCE 2016. [5].....	15
OBR. 7: ŘETĚZEC SYSTÉMU EKO-KOM. [8] .....	17
OBR. 8: MNOŽSTVÍ VYTŘÍDĚNÉHO ODPADU V KG (PAPÍR, SKLO, PLAST, NÁPOJOVÉ KARTONY)/OBYVATEL ZA ROK. [9] .....	18
OBR. 9: DOSAŽENÁ MÍRA RECYKLACE DLE TYPU OBALU V ROCE 2018 V SYSTÉMU EKO-KOM. [9] .....	18
OBR. 10: POPTÁVKA PO PLASTECH V ROCE 2015 V EU28 + NORSKO, ŠVÝCARSKO. [11] .....	19
OBR. 11: VÝVOJ CELOSVĚTOVÉ PRODUKCE PLASTŮ („MILLION TONNES“ – MILIONY TUN). [1] .....	20
OBR. 12: ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ. [12].....	20
OBR. 13: SPOJENÍ MONOMERŮ DO ŘETĚZCE A VYTVOŘENÍ POLYMERU („MONOMERS“ – MONOMERY, „BONDING PROCES“ – PROCES SPOJENÍ, „POLYMER“ – POLYMER). [13] .....	21
OBR. 14: AKTUÁLNÍ SITUACE A PŘEDPOKLÁDANÝ VÝVOJ PRODUKCE PLASTŮ, POMĚRU VÁHY PLASTŮ A RYB V OCEÁNECH, PODÍL SPOTŘEBY ROPY NA VÝROBU PLASTŮ. [1] .....	22
OBR. 15: VZNIK POLYETHYLENU ROZBITÍM DVOJNÉ VAZBY A ŘETĚZENÍ V POLYMER. [19] .....	23
OBR. 16: ZÁKLADNÍ JEDNOTKA POLYPROPYLENU. [21] .....	24
OBR. 17: MOLEKULÁRNÍ STRUKTURA POLYPROPYLENU. [21].....	25
OBR. 18: ZÁKLADNÍ JEDNOTKA POLYVINYLCHLORIDU. [22] .....	25
OBR. 19: POLYMERACE STYRENU. [22] .....	26
OBR. 20: ZÁKLADNÍ MOLEKULA PET. [23] .....	27
OBR. 21: PROCENTUÁLNÍ VYJÁDŘENÍ GLOBÁLNÍ POPTÁVKY NEJVÍCE VYUŽÍVANÝCH PLASTŮ A JEJICH APLIKACE. [18] .....	28
OBR. 22: ROZLOŽENÍ VÝROBY BIOPLASTŮ VE SVĚTĚ („TOTAL: 2.11 MILLION TONNES – CELKEM: 2,11 MILIONŮ TUN). [28] .....	32
OBR. 23: GLOBÁLNÍ MAPA S ODHADOVANÝM MNOŽSTVÍM PLASTOVÉHO ODPADU UNIKAJÍCÍHO DO OCEÁNŮ V ROCE 2010 V OBLASTI VE VZDÁLENOSTI DO 50 KM OD POBŘEŽÍ („PLASTIC WASTE AVAILABLE TO ENTER THE OCEAN IN 2010“ – PLASTOVÝ ODPAD UNIKAJÍCÍ DO OCEÁNU V ROCE 2010). [29].....	33
OBR. 24: KDE KONČÍ PLASTY VSTUPUJÍCÍ DO MOŘÍ A OCEÁNŮ. [31] .....	34
OBR. 25: NEJVĚTŠÍ OCEÁNSKÉ „VÍRY“ A KONCENTRACE MIKROPLASTŮ VE SVĚTOVÝCH OCEÁNECH A MOŘÍCH („PLASTIC CURRENTS, A GIANT DISTRIBUTION SYSTEM FOR MARINE PLASTICS“ – PLASTOVÉ PROUDY, OBROVSKÝ DISTRIBUČNÍ SYSTÉM PLASTŮ; „MICROPLASTIC CONCENTRATION“ – KONCENTRACE MIKROPLASTŮ; „SURFACE CURRENT“ – SMĚR PROUDU; „SAMPLE POINTS USED IN THE MODEL“ – VZORKOVÉ BODY POUŽITÉ V MODELU). [34] .....	35
OBR. 26: KOMPLEXNÍ ŘETĚZEC TOKU PLASTOVÉHO ODPADU A JEHO PŘEPRACOVÁNÍ NA DRUHOTNĚ VYUŽITELNÝ MATERIÁL. [18] ....	37
OBR. 27: SHRUTÍ METOD CHEMICKÉ RECYKLACE PLASTŮ. [38] .....	39
OBR. 28: ŘETĚZEC VZNIKU POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ A TECHNOLOGIE PŘEPRACOVÁNÍ PLASTOVÉHO CESTOU CHEMICKÉ RECYKLACE. [38] .....	40
OBR. 29: VÝVOJ PRODUKCE KO A ODDĚLENÉ SBÍRANÝCH SLOŽEK. [41] .....	41
OBR. 30: SKLADBA DOMOVNÍHO ODPADU ČESKÉ REPUBLIKY V ROCE 2016. [40].....	41
OBR. 31: KONTEJNEROVÉ „HNÍZDO“ PRO DONÁŠKOVÝ SBĚR VYUŽITELNÝCH ODPADŮ. [43] .....	42
OBR. 32: UKÁZKA PYTLOVÉHO SBĚRU VE MĚSTĚ TURNOV. [45] .....	42
OBR. 33: SCHEMATICKY ZOBRAZENÁ DOTŘÍDOVACÍ LINKA. [47] .....	43
OBR. 34: DOTŘÍDOVACÍ LINKA V REÁLNÉM PROVEDENÍ. [48] .....	44
OBR. 35: PRACOVNÍCI, KTEŘÍ TŘÍDÍ PROUD PLASTOVÉHO ODPADU NA JEDNOTLIVÉ FRAKCE. [50] .....	45
OBR. 36: PERFORÁTOR PET LÁHVÍ. [51].....	45
OBR. 37: SCHÉMA RECYKLAČNÍ LINKY URČENÉ NA ZPRACOVÁNÍ PE, PP, PS A ABS: 1 – ŘETĚZOPÁSOVÝ DOPRAVNÍK, 2 – DRTIČ, 3 – SEDIMENTAČNÍ NÁDRŽ S LOPATKAMI, 4 – ČISTIČKA VODY, 5 – DOPRAVNÍKOVÝ ŠNEK, 6 – ODVODŇOVACÍ ODSTŘEDIVKA, 7A – AGLOMERÁTOR + ZÁSOBNÍ SILO, 7B – REGRANULAČNÍ LINKA. ....	46
OBR. 38: RECYKLAČNÍ LINKA S VÝSTUPNÍ FRAKCI V PODOBĚ „VLOČEK“: 1 – ŘETĚZOPÁSOVÝ DOPRAVNÍK, 2 – DRTIČ, 3 – DOPRAVNÍK, 4 – FRIKČNÍ PRAČKY, 5 – FLOTAČNÍ NÁDRŽ, 6 – ODVODŇOVACÍ ODSTŘEDIVKA [54] .....	47

OBR. 39: RECYKLAČNÍ LINKA S VÝSTUPNÍ FRAKČÍ V PODOBĚ PELET: 1 – ŘETĚZOPÁSOVÝ DOPRAVNÍK, 2 – DRTIČ, 3 – DOPRAVNÍK, 4 – FLOTAČNÍ NÁDRŽ, 5 – FRIKČNÍ PRAČKA, 6 – ODVODŇOVACÍ ZAŘÍZENÍ, 7 – VYSOUŠECÍ ODSTŘEDIVKA, 8 – SKLADOVACÍ SILO, 9 – AGLOMERÁTOR, 10 – ZÁSObNÍK AGLOMERÁTU, 11 – EXTRUDÉR, 12 – PELETIZÉR, 13 – PLNÍCÍ STANICE [54]	48
OBR. 40: PŘÍKLAD ŘETĚZOPÁSOVÉHO DOPRAVNÍKU. [53]	49
OBR. 41: DETAIL JEDNOHŘÍDELOVÉHO DRTIČE. [56]	50
OBR. 42: DETAIL LOPATEK NA ROTORU. [54]	51
OBR. 43: FRIKČNÍ PRAČKA. [54]	51
OBR. 44: UKÁZKA MYCÍ A ZÁROVEŇ FLOTAČNÍ NÁDRŽE. [54]	51
OBR. 45: ODVODŇOVACÍ PŘÍSTROJ NA PP A PE FÓLIE. [54]	52
OBR. 46: KUŽELOVITÉ ÚSTROJÍ ODVODŇOVACÍHO PŘÍSTROJE. [54]	53
OBR. 47: SKLADOVACÍ SILO PRO MATERIÁL. [58]	53
OBR. 48: UKÁZKA AGLOMERÁTORU POUŽITÉHO V UVAŽOVANÉ LINCE. [54]	54
OBR. 49: BOČNÍ POHLED NA AGLOMERÁTOR. [54]	55
OBR. 50: SCHÉMA EXTRUDÉRU: 1 – MOTOR, 2 – PŘEVODOVÁ SKŘÍŇ, 3 – ZÁSObNÍK AGLOMERÁTU, 4 – FILTRAČNÍ SYSTÉM, 5 – VÁLCOVÁ KOMORA, 6 – CHLAZENÍ VÁLCE, 7 – TOPNÉ ELEMENTY, 8 – VYTLAČOVACÍ HLAVA. [54]	55
OBR. 51: SCHÉMATICKÝ PRŮŘEZ EXTRUDÉREM. [60]	56
OBR. 52: GRANULACE ZA STUDENA: 1 – EXTRUDÉR, 2 – VYTLAČOVACÍ HLAVA, 3 – STRUNY TAVENINY, 4 – VODNÍ LÁZEŇ, 5 – VODÍCÍ KOTOUČE, 6 – VENTILÁTOR, 7 – PODÁVACÍ KOTOUČE, 8 – ROTUJÍCÍ NOŽE, 9 – PELETY. [61]	57
OBR. 53: GRANULACE ZA TEPLA – SEKANÍ STRUN TAVENINY NA PELETY. [62]	57
OBR. 54: GRANULÁTOR. [54]	58
OBR. 55: UKÁZKA VÝROBKŮ VYTVOŘENÝCH VYTLAČOVÁNÍM. [64]	59
OBR. 56: PROCES VÝROBY TECHNOLOGIÍ VSTŘIKOVÁNÍ. [61]	59
OBR. 57: PREFORMY K VÝROBĚ PET LÁHVÍ. [65]	60
OBR. 58: PROCES VAKUOVÉHO TVÁŘENÍ: A – NAHŘÁTÍ PLÁTU, B – VZNIK PODTLAKU, ODSÁTÍ VZDUCHU, C – DOTVAROVÁNÍ, D – VYJMUTÍ VÝROBKU. [61]	60
OBR. 59: SCHÉMA KONCEPCE TE MODELU	62
OBR. 60: VÝSTŘIŽEK VÝKRESU ROZVODU INŽENÝRSKÝCH SÍTÍ	63
OBR. 61: NAPOJENÍ OBJEKTU NA STÁVAJÍCÍ KOMUNIKACI	64
OBR. 62: SHRNUTÍ POČÁTEČNÍCH INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ	65
OBR. 63: GRAF INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ S PROCENTUÁLNÍM PODÍLEM JEDNOTLIVÝCH POLOŽEK	66
OBR. 64: GRAF INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ S PROCENTUÁLNÍM PODÍLEM JEDNOTLIVÝCH POLOŽEK	66
OBR. 65: CELKOVÝ POHLED NA HALU. [66]	67
OBR. 66: BOČNÍ POHLED NA HALU. [66]	67
OBR. 67: VRCHNÍ POHLED NA HALU. [66]	67
OBR. 68: VÝŘEZ VÝKRESU S ČÁSTÍ HALY, KDE SE NACHÁZÍ REGRANULAČNÍ LINKA	68
OBR. 69: LEGENDA ZAŘÍZENÍ, KTERÉ JSOU SOUČÁSTÍ REGRANULAČNÍ LINKY	68
OBR. 70: VYJÁDŘENÍ ZÁVISLOSTI CENY PANENSKÉHO HDPE A ČIRÝCH HDPE LÁHVÍ NA ROPĚ. [67]	69
OBR. 71: POROVNÁNÍ ZÁVISLOSTI CENY PET LÁHVÍ NA POHYBU CENY BAVLNY. [67]	70
OBR. 72: HLAVNÍ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ CENU RECYKLOVANÝCH PLASTŮ	70
OBR. 73: VÝVOJ EXPORTU PLASTOVÉHO ODPADU URČENÉHO K RECYKLACI DO VYBRANÝCH STÁTŮ Z EU V LETECH 2015 – 2018. [69]	72
OBR. 74: PROVOZNÍ NÁKLADY A JEJICH KONKRÉTNÍ PŘÍKLADY	73
OBR. 75: PROVOZNÍ NÁKLADY A JEJICH SLOŽENÍ V PRVNÍM ROCE PROVOZU REGRANULAČNÍ LINKY	74
OBR. 76: POMĚRNÉ ROČNÍ NÁKLADY A PŘÍJMY PŘEPOČÍTANÉ NA JEDNOTLIVÉ FRAKCE	78
OBR. 77: NÁVRATNOST INVESTICE PŘI PROVOZU LINKY S VÝSTUPEM MATERIÁLU VE FORMĚ „VLOČEK“	82
OBR. 78: NÁVRATNOST INVESTICE PŘI PROVOZU LINKY S VÝSTUPEM VE FORMĚ GRANULÁTU	82
OBR. 79: ZISK ZATÍŽENÝ POMĚRNÝMI NÁKLADY Z 1 TUNY ZPRACOVANÉHO MATERIÁLU (VLOČKY)	83
OBR. 80: ZISK ZATÍŽENÝ POMĚRNÝMI NÁKLADY Z 1 TUNY ZPRACOVANÉHO MATERIÁLU (REGRANULÁT)	83
OBR. 81: POROVNÁNÍ NÁKLADŮ A PŘÍJMŮ VZTAŽENÉ K 1 TUNĚ ZPRACOVANÉHO MATERIÁLU	85
OBR. 82: GRAF SROVNÁVÁJÍCÍ ROČNÍ NÁKLADY A PŘÍJMY PŘI ZAPOČÍTÁNÍ/NEZAPOČÍTÁNÍ POČÁTEČNÍ INVESTICE	86
OBR. 83: POROVNÁNÍ NÁKLADŮ A PŘÍJMŮ VZTAŽENÉ K 1 TUNĚ ZPRACOVANÉHO MATERIÁLU	88
OBR. 84: POROVNÁNÍ PRŮMĚRNÝCH ROČNÍCH ZISKŮ Z 1 TUNY MATERIÁLU DLE ZPRACOVÁVANÝCH FRAKČÍ	88
OBR. 85: POROVNÁNÍ PRŮMĚRNÝCH ROČNÍCH ZISKŮ Z 1 TUNY MATERIÁLU DLE ZPRACOVÁVANÝCH FRAKČÍ	89

OBR. 86: POROVNÁNÍ PRŮMĚRNÝCH ROČNÍCH NÁKLADŮ A PŘÍJMŮ VZTAŽENÉ K 1 TUNĚ ZPRACOVANÉHO MATERIÁLU.....	91
OBR. 88: „ZLOMOVÝ“ BOD MNOŽSTVÍ ZPRACOVANÉHO MATERIÁLU U JEDNOTLIVÝCH FRAKCÍ.....	92
OBR. 89: „ZLOMOVÝ BOD“ VYJÁDŘENÝ V HODINOVÉ KAPACITĚ U JEDNOTLIVÝCH FRAKCÍ. ....	93
OBR. 90: VÝLEDNÝ GRAF Z ANALÝZY NALEZENÍ „BREAK POINTU“ PRO PET – ČIRÝ A PET – MIX. ....	94
OBR. 91: VÝLEDNÝ GRAF Z ANALÝZY NALEZENÍ „BREAK POINTU“ PRO PP – PRŮMYSLOVÝ.....	94
OBR. 92: VÝLEDNÝ GRAF Z ANALÝZY NALEZENÍ „BREAK POINTU“ PRO HDPE – ČIRÝ A HDPE - MIX. ....	95
OBR. 93: VÝLEDNÝ GRAF Z ANALÝZY NALEZENÍ „BREAK POINTU“ PRO LDPE – ČIRÝ A LDPE - MIX. ....	95



## SEZNAM TABULEK:

TAB. 1: VLASTNOSTI ZÁKLADNÍCH TYPŮ POLYETHYLENU. [15]	24
TAB. 2: VLASTNOSTI IZOTAKTICKÉHO POLYPROPYLENU. [15]	25
TAB. 3: POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ NEMĚKČENÉHO A MĚKČENÉHO PVC. [15]	26
TAB. 4: VLASTNOSTI NEJČASTĚJI VYUŽÍVANÝCH POLYSTYRENŮ. [15]	27
TAB. 5: ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI POLYETHYLENTEREFTALÁTU. [15]	28
TAB. 6: POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ TERMOPLASTŮ A REAKTOPLASŮ. [16]	29
TAB. 7: RECYKLAČNÍ ZNAČKY PLASTŮ A PŘÍKLADY JEJICH PRODUKTŮ. [1],[25]	31
TAB. 8: OZNAČENÍ JEDNOTLIVÝCH TYPŮ RECYKLACE DLE RŮZNÝCH NOREM. [35]	36
TAB. 9: PARAMETRY DOPRAVNÍKŮ RECYKLAČNÍ LINKY. [54]	49
TAB. 10: PARAMETRY DRTIČE. [54]	50
TAB. 11: PARAMETRY FLOTAČNÍ NÁDRŽE. [54]	52
TAB. 12: ZÁKLADNÍ PARAMETRY ODVODŇOVACÍHO PŘÍSTROJE. [54]	53
TAB. 13: ZÁKLADNÍ PARAMETRY AGLOMERÁTORU. [54]	54
TAB. 14: ZÁKLADNÍ PARAMETRY EXTRUDÉRU. [54]	56
TAB. 15: PARAMETRY GRANULÁTORU. [54]	58
TAB. 16: SHRNUÍ INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ.	65
TAB. 17: ZÁKLADNÍ ROZMĚROVÉ ÚDAJE O POZEMKU A HALE.	66
TAB. 18: VÝKUPNÍ CENY VÝSTUPNÍCH SUROVIN LINKY. [68]	71
TAB. 19: VARIANTY FONDŮ PRACOVNÍ DOBY LINKY.	72
TAB. 20: POROVNÁNÍ SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE A ROČNÍCH NÁKLADŮ NA PROVOZ LINKY.	73
TAB. 21: VÝCHOZÍ NASTAVENÍ MATERIÁLOVÉ BILANCE.	74
TAB. 22: SIMULACE TOKU MATERIÁLU SKRZ LINKU S VÝSTUPEM V PODOBĚ „VLOČEK“.	75
TAB. 23: SIMULACE TOKU MATERIÁLU SKRZ LINKU S VÝSTUPEM V PODOBĚ REGRANULÁTU.	75
TAB. 24: ROČNÍ MATERIÁLOVÁ BILANCE LINKY S VÝSTUPEM V PODOBĚ „VLOČEK“.	76
TAB. 25: SHRNUÍ SLEDOVANÝCH VÝSTUPŮ MODELU.	79
TAB. 26: NASTAVENÍ SLOŽENÍ VSTUPNÍHO MATERIÁLU A VÝKUPNÍCH CEN VLOČEK A REGRANULÁTU. [68]	80
TAB. 27: HLAVNÍ VÝSTUPY MODELU, SROVNÁNÍ LINKY S VÝSTUPEM VE FORMĚ „VLOČEK“ A REGRANULÁTU.	81
TAB. 28: DETAILNÍ ROČNÍ MATERIÁLOVÁ BILANCE KAŽDÉ ZE ZPRACOVÁVANÝCH FRAKČÍ.	81
TAB. 29: POROVNÁNÍ HLAVNÍCH SLEDOVANÝCH VÝSTUPNÍCH PARAMETRŮ U SMĚNY 8 A 12 HODIN.	84
TAB. 30: SROVNÁNÍ ZÁKLADNÍCH VÝSTUPŮ PŘI UVAŽOVÁNÍ DOTAČNÍHO PROGRAMU.	86
TAB. 31: CITLIVOSTNÍ ANALÝZA VÝKUPNÍCH CEN REGRANULÁTU.	87
TAB. 32: CITLIVOSTNÍ ANALÝZA MEZIROČNÍCH ZMĚN NÁKLADŮ A PŘÍJMŮ.	89
TAB. 33: DRUHOVÉ SLOŽENÍ PLASTOVÉHO MATERIÁLU U JEDNOTLIVÝCH SCÉNÁŘŮ.	90
TAB. 34: HLAVNÍ FINANČNÍ VÝSTUPY CITLIVOSTNÍ ANALÝZY DRUHOVÉ SLOŽENÍ.	91
TAB. 35: UKÁZKA NASTAVENÍ SLOŽENÍ VSTUPNÍHO MATERIÁLU PRO ZÍSKÁNÍ „ZLOMOVÝCH“ BODŮ.	92

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK:

KO	Komunální odpad
ČR	Česká republika
EU	Evropská Unie
POH	Plán odpadového hospodářství
C	Uhlík
PE	Polyethylen
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
PET	Polyethylentereftalát
LDPE	Nízkohustotní polyethylen
HDPE	Vysokohustotní polyethylen
PP	Polypropylen
aPP	Ataktický polypropylen
iPP	Izotaktický polypropylen
sPP	Syndiotaktický polypropylen
UV záření	Ultra fialové záření
PVC-U	Neměkčený polyvinylchlorid
PVC-P	Měkčený polyvinylchlorid
PS-HI	Houževnatý polystyren
ABS	Akrylonitril-butadien-styren
SAN	Styren-akrylonitril
PS-E	Expandovaný polystyren
PUR	Polyuretan
ZEVO	Zařízení pro energetické využívání odpadu
MEG	Monoethylenglykol
TPA	Kyselina tereftalová
EPS	Zpěňovatelný polystyren
ČSÚ	Český statistický úřad

## SEZNAM PŘÍLOH:

Příloha A – Technicko-ekonomický model recyklační linky v programovém prostředí Excel

Příloha B – Výkres umístění recyklačního závodu a rozvodu inženýrských sítí

Příloha C – Výkres vnitřního prostoru haly s umístěním recyklační linky

Příloha D – Data z dotřídňovací linky a z rozborů odpadu